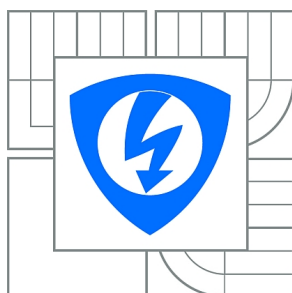




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

## **ANALÝZA DYNAMIKY KRESLENÍ**

DYNAMIC DRAWING ANALYSIS

### **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

#### **AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. IVANA LIBERDOVÁ**

#### **VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. OTO JANOUŠEK, Ph.D.**

BRNO 2015



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav biomedicínského inženýrství**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Biomedicínské inženýrství a bioinformatika**

**Studentka:** Bc. Ivana Liberdová

**ID:** 136480

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2014/2015

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Analýza dynamiky kreslení**

### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1) Nastudujte problematiku hodnocení dynamiky kreslení a proveďte v této oblasti literární rešerši. 2) Navrhněte metodu pro segmentaci jednotlivých úseků postupně vznikající kresby založenou na analýze časového průběhu kresby. Dále navrhněte metodu umožňující převést ručně kreslené obrazce do jejich idealizované vektorové formy. 3) Vytvořte sadu předloh k obkreslování, obsahující jednoduché obrazce. 4) Zaznamenejte kresby skupiny dobrovolníků. Metodu záznamu zvolte tak, abyste zaznamenali současně pozici i čas. 5) V programovém prostředí Matlab vytvořte aplikaci, která nahradí původní kresbu její vektorovou obdobou. Aplikace bude současně vizualizovat posloupnost vzniku jednotlivých částí kresby. 6) Vyhodnoťte úspěšnost převodu ruční kresby do vektorové reprezentace. 7) Proveďte diskuzi získaných výsledků a na jejich základě vytvořte doporučení pro tvorbu sady obrazců k obkreslování.

### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

- [1] MATĚJČEK, Zdeněk, VÁGNEROVÁ, Marie. Test obkreslování: příručka pro administraci a interpretaci. Psychodiagnostika, 1992, c2010, xxiii, 27 s.
- [2] MARR, David. Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information. Cambridge: MIT Press, c2010, xxiii, 403 s. ISBN 978-0-262-51462-0.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 22.5.2015

**Vedoucí práce:** Ing. Oto Janoušek, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřena na analýzu dynamiky kreslení. Zabývá se obkreslovacími testy, které lze pro analýzu uplatnit. Dále se zabývá metodou pro časovou segmentaci postupně vznikající kresby a také vektorizací kreslených útvarů.

## **Klíčová slova**

- Analýza dynamiky kreslení, obkreslovací test, časová segmentace kresby, vektorizace

## **ABSTRACT**

This thesis is focused on the dynamic drawing analysis. It deals with tracing drawing tests that can be applied for the analysis. It also deals with method for temporal segmentation of emerging drawings and also vectorization of resulted segments of drawings.

## **Keywords**

- Dynamic drawing analysis, tracing drawing tests, temporal segmentation of drawings, curve fitting

### **Bibliografická citace**

LIBERDOVÁ, I. *Analýza dynamiky kreslení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 69 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Oto Janoušek, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Analýza dynamiky kreslení jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009Sb.

V Brně dne

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce, Ing. Otu Janouškovi Ph.D., za vedení práce, poskytnutí cenných rad při psaní práce, vstřícnost a čas.

V Brně dne

podpis autora

## Obsah

Seznam obrázků .....	viii
Seznam tabulek .....	x
Úvod .....	1
1   Hodnocení dynamiky kreslení .....	2
1.1   Vnímání obrazu .....	2
1.2   Senzomotorické schopnosti .....	4
1.3   Testy hodnocení kresby .....	5
1.3.1   Testy obkreslování .....	7
1.4   Analýza průběhu kresby .....	9
1.4.1   Kvantifikátory časového průběhu kresby .....	10
1.4.2   Kvantifikátory distorze kresby .....	11
2   Návrh metody segmentace vznikající kresby .....	14
2.1   Analýza časového průběhu kresby .....	14
2.1.1   Metoda pro segmentaci úseků postupně vznikající kresby na základě časové analýzy .....	15
2.2   Poziční analýza .....	17
2.2.1   Metoda pro segmentaci úseků postupně vznikající kresby na základě poziční analýzy .....	19
2.3   Srovnání metod pro segmentaci úseků postupně vznikající kresby .....	20
3   Převedení získaných dat do idealizované vektorové formy .....	21
3.1   Vektorizace .....	21
3.1.1   Křivka a její charakteristika .....	21
3.1.2   Polynomiální křivky .....	23
3.1.3   Metoda nejmenších čtverců .....	24
3.1.4   Parametrické křivky – Bézierova křivka .....	25
3.2   Vektorizace v rámci aplikace .....	26
3.2.1   Kategorizace přímků a kružnic .....	26
3.2.2   Vektorizace přímků .....	27
3.2.3   Vektorizace kružnic a jejich částí .....	28
4   Předlohy k obkreslování .....	30
4.1   Výběr obrazců pro obkreslovací testy .....	30
4.2   Vykreslení tvarů .....	30

5	Zaznamenávání kresby.....	33
5.1	Metody zaznamenávání kresby .....	33
5.1.1	Popis zvolené metody – tablet Prestigio Multipad.....	33
5.1.2	Výhody a nevýhody .....	34
5.1.3	Administrace testu.....	34
5.2	Získaná data .....	34
6	Aplikace pro segmentaci a vektorizaci kresby.....	36
6.1	Vývoj aplikace .....	36
6.1.1	Načtení dat.....	37
6.1.2	Segmentace kresby .....	37
6.1.3	Vykreslení .....	39
6.1.4	Manuální korekce .....	40
6.1.5	Vektorizace.....	42
6.1.6	Export dat .....	45
6.2	Uživatelské prostředí aplikace .....	49
7	Vyhodnocení .....	51
7.1	Vyhodnocení vektorizace .....	51
7.2	Hodnocení chyby kresby primitiv .....	52
7.3	Časové hodnocení kresby .....	53
7.4	Doporučení .....	55
8	Závěr .....	56
	Seznam použité literatury .....	57
	Přílohy .....	59



## Seznam obrázků

Obrázek 1 Segmentace obrazu při procesu vnímání obrazu [3].....	3
Obrázek 2 Metzlerův test porovnání objektů [1] .....	3
Obrázek 3 Řízení motoriky .....	4
Obrázek 4 Časová závislost kresby čar různých délek.....	10
Obrázek 5 Klikatost čáry .....	12
Obrázek 6 Členitost čáry .....	12
Obrázek 7 Vícenásobná čára .....	12
Obrázek 8 Rozkmit čáry.....	13
Obrázek 9 Nedotažení a přetažení čáry .....	13
Obrázek 10 Získaná data kresby .....	14
Obrázek 11 Graf velikosti časových prodlev mezi měřenými body .....	15
Obrázek 12 Graf velikosti časových prodlev mezi měřenými body (vlevo), Obrazec s vyznačenými segmenty obrazce (vpravo) .....	16
Obrázek 13 Ukázka špatné detekce konců segmentů.....	16
Obrázek 14 Získaná data čtverce pro poziční analýzu .....	17
Obrázek 15 Diference vzdáleností mezi po sobě jdoucími body body .....	18
Obrázek 16 Diference vzdáleností mezi jednotlivými po sobě jdoucími body po použití filtru (dolní propust) .....	18
Obrázek 17 detekované hranice primitiv kresleného obrazce (vpravo) na základě detekovaných minim ve filtrovaných datech vzdáleností (vlevo).....	19
Obrázek 18 Aproximace [12] .....	22
Obrázek 19 Interpolace [12].....	23
Obrázek 20 Obyčejná metoda nejmenších čtverců [13].....	24
Obrázek 21 Metoda úplných nejmenších čtverců [13].....	24
Obrázek 22 Bézierova kubika (křivka 3. řádu) [12].....	26
Obrázek 23 rozdílné směrnice kružnice .....	26
Obrázek 24 Obkreslovací předloha 1 .....	31
Obrázek 25 Obkreslovací předloha 2 .....	31
Obrázek 26 Obkreslovací předloha 3 .....	31
Obrázek 27 Obkreslovací předloha 4 .....	31
Obrázek 28 Obkreslovací předloha 5 .....	32
Obrázek 29 Obkreslovací předloha 6 .....	32
Obrázek 30 Prestigio Multipad .....	34
Obrázek 31 Blokové schéma aplikace .....	36
Obrázek 32 Vývojový diagram segmentace kresby .....	38
Obrázek 33 Příklad vykreslení získaných dat .....	39
Obrázek 34 Manuální korekce posunu bodu .....	40
Obrázek 35 Manuální korekce přidání bodu .....	41
Obrázek 36 Vývojový diagram vektorizace .....	42

Obrázek 37 Vektorizace přímky .....	43
Obrázek 38 Vektorizace kružnice .....	44
Obrázek 39 Příklad nevektORIZovatelných tvarů (vlnitá čára, 2 segmenty po odstranění hranice, spirála) .....	45
Obrázek 40 Uživatelské prostředí aplikace .....	49
Obrázek 41 Aplikace po výběru pacienta a zapnuté vektorizaci .....	50
Obrázek 42 Výsledky chybné vektorizace .....	51
Obrázek 43 Obrázky po opravě manuálních korekcí .....	52
Obrázek 44 Korelační analýza přesnosti a doby kresby, korelační koeficient -0,2703 .....	54

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Tabulka obrazců pro Matějčkův test .....	8
Tabulka 2 Výsledky studií podle Matějčkova testu [9].....	9
Tabulka 3 Tabulka časových prodlev mezi body vznikající kresby .....	15
Tabulka 4 Tabulka euklidovských vzdáleností mezi po sobě jdoucími body obrazce .....	19
Tabulka 5 Struktura dat pro export .....	46
Tabulka 6 Struktura preminilaryData obsahující původní data záznamu .....	47
Tabulka 7 Struktura dat primitiv a jejich hranic .....	47
Tabulka 8 Struktura dat pro konstrukci vektorů.....	48
Tabulka 9 Průměrné chyby přímk .....	52
Tabulka 10 Průměrné chyby kružnic .....	53
Tabulka 11 Tabulka doby kresby probandů .....	54

## Úvod

Cílem diplomové práce je analýza dynamiky kreslení. Za tímto účelem je nejprve rozebrána problematika kresebných testů. Kresebné testy jsou oblíbeným diagnostickým prostředkem, protože přináší užitečné informace nejen o poruchách senzomotoriky či vnímání obrazu, ale také informace o vyspělosti jedince. Práce je zaměřena především na testy obkreslovací, které jsou vhodné k analýze dynamiky kreslení. V rámci těchto obkreslovacích testů jsou definovány časové klasifikátory a klasifikátory distorze kresby.

Pro analýzu dynamiky kreslení je nutno provést časovou analýzu kresby za účelem segmentace kresby do jednotlivých částí, které budou následně vektorizovány. Pro převedení kresby do vektorové formy je nastudována problematika vektorizace a modelování křivek v počítačové grafice.

Metody vektorizace (popsané v kapitole 3) jsou pak následně užity ve zpracovávané aplikaci tvořené v programovém prostředí Matlab, kdy aplikace převede zaznamenanou kresbu probandů do vektorové podoby pro následné hodnocení a klasifikaci distorze obrazu. Vytvořenou aplikaci popisuje kapitola 6.

Záznam kresby proběhne dle definované metody v této práci, která zachytí poziční i časové souřadnice získávané kresby a zároveň nebude stresovat probanda. Kresby budou prováděny pomocí obkreslovacích šablon, které jsou v práci uvedeny.

Celkové zhodnocení úspěšnosti vektorizace je popsáno v kapitole 7, kde jsou popsány i statistické výsledky.

# 1 Hodnocení dynamiky kreslení

Kresbu je možno vnímat nejen jako výtvarné umění, ale také jako kreativní a nenáročnou relaxační činnost, s kterou člověk začíná již od raného stadia vývoje. Právě z hlediska posouzení vývoje dítěte má velkou vypovídající hodnotu. Dítě v jednotlivých věkových obdobích prochází definovanými stadii kresby. K hodnocení daných kreseb a jejich zařazení do stadia vývoje dítěte slouží testy navržené psychology, např. testy podle Matějčka, test podle Goodenoughové, popř. podle Bentona.

Pro hodnocení dynamiky kreslení se používají zejména testy obkreslování, kdy probandi kreslí podle dané předlohy. Proto je základem pro hodnocení dynamiky kreslení pochopení, jak člověk vnímá obraz a následně jak je schopen propojit získaný vizuální vjem obrazu s jemnou motorikou svých pohybů nutnou pro kresbu.

## 1.1 Vnímání obrazu

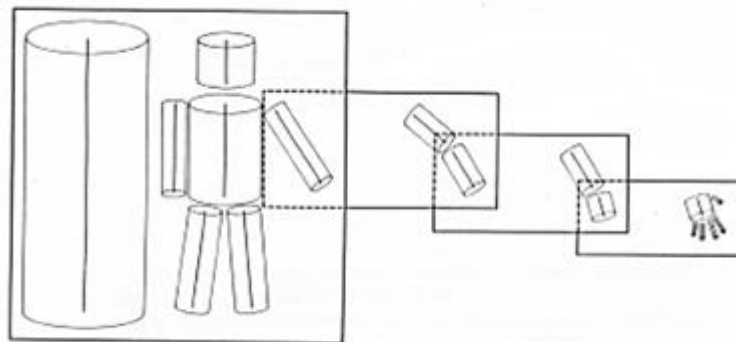
Vidění spočívá především ve zpracování informace a objevování detailů a informací v okolním obrazovém prostoru.

K vidění je nutno zdravého nervového systému a očního aparátu. Nervový systém musí být schopen obraz zachytit a zpracovat a tomuto procesu se říká vnímání obrazu. Toto téma je také součástí oboru psychofyziky (což je obor patřící mezi exaktní vědy, který se zabývá vztahem mezi tělem a duší). Psychofyzika se zabývá vyjádřením psychických dějů fyzikálními zákony, tedy i vnímání obrazu za pomoci fyziologických pochodů v těle a fyzikálních zákonů.

Vnímání vzniklého obrazu a odvození tvarové informace z daného obrazu popsal Marrs, který rozčlenil vnímání obrazu na jednotlivé fáze [1]:

- Obraz – je vnímán jako celek za pomoci intenzit v daných bodech obrazu
- Primární sketch – dává informace o rozložení jasu v dvourozměrném obraze, kde změny intenzit jasu vyjadřují geometrické rozdělení obrazu a organizace. Jako primitiva zde působí segmenty hran, hranice, průchody nulou
- 2,5D sketch – udává orientaci, pohledové plochy a kontury
- 3D model – popisuje prostorové uspořádání

Marrsova teorie tvrdí, že člověk vnímá obraz jako celek a následně jej rozčlení na detaily, obdobně jako na obrázku (Obrázek 1).

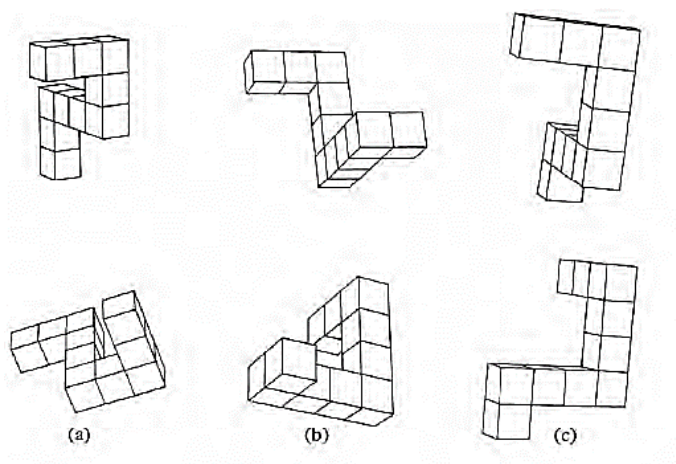


**Obrázek 1 Segmentace obrazu při procesu vnímání obrazu [3]**

Je nutno zmínit, že člověk celkový obraz nevnímá celý najednou. Obraz je vytvářen na základě souboru okamžitých a diskrétních vjemů. Tyto vjemy vznikají při fixaci oka. Pro získání vjemu musí být oko fixováno 100-500 ms. Ze vzniklých vjemů si následně mozek vytvoří obraz. [2]

Jedinec potřebuje čas nejen pro zachycení obrazu, ale také pro pochopení obrazu, příp. tvaru. Vztah mezi pochopením orientace tvaru na obrazu a časem byl zkoumán ve studii Sheparda Metzler Jacqueline.

Metzler připravil tři páry obrazů, a proband měl dané obrazce v páru porovnat. Výsledkem studie bylo, že doba rozpoznání závisí na schopnosti převést jedince rotací jeden tvar do dané orientace druhého tvaru [1].



**Obrázek 2 Metzlerův test porovnání objektů [1]**

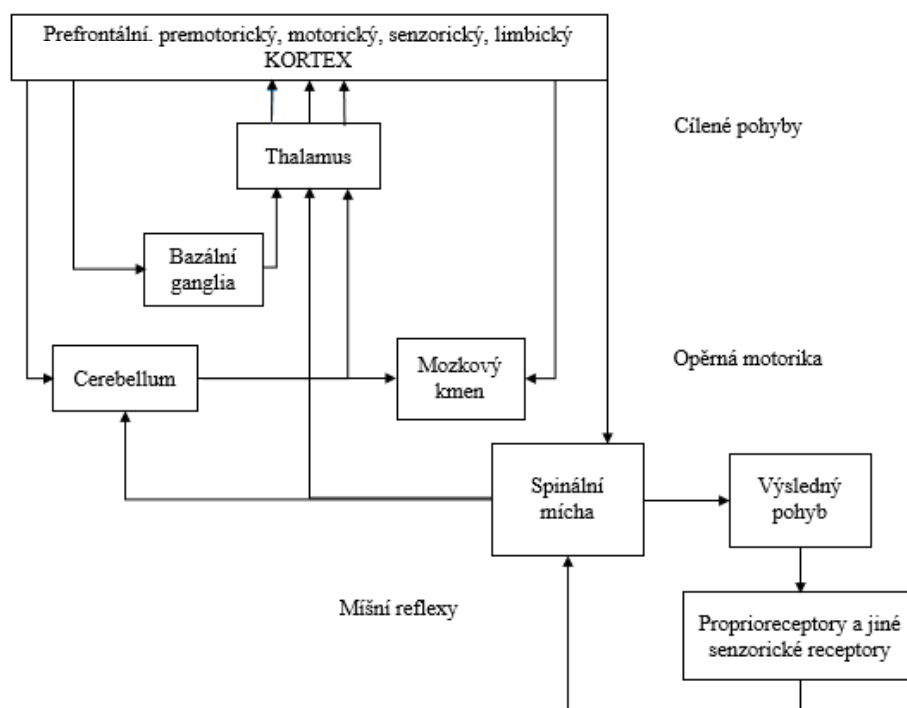
Studií inspirované hodnocení času může sloužit cílenému hodnocení dynamiky kreslení. Při obkreslovacích testech lze hodnotit dobu, po jakou jedinec přemýšlí, než celý tvar pochopí

a následně překreslí. Zaznamenaný čas pak může indikovat i inteligenci a prostorovou představivost daného jedince.

## 1.2 Senzomotorické schopnosti

Pro nakreslení obrazu je potřeba nejen vnímaný obraz pochopit, ale je také potřeba propojit dané vnímání obrazu s motorickými schopnostmi. Proto je zde nutná souhra smyslových orgánů jedinců s jejich tělesnými pohyby.

Výslednou kresbu a celkovou dynamiku kreslení ovlivňuje stav motorického systému. Řízení motorických činností závisí na kognitivních funkcích i na stavu vědomí, proto na tomto základě lze analyzovat dynamiku kresby. Oblast řízení motoriky je součástí centrálního nervového systému. Strukturu nervové soustavy lze vidět na obrázku (Obrázek 3), kde lze vyčíst jednotlivé dráhy a komponenty řízení motoriky (kortex, mozkový kmen, spinální mícha, bazální ganglia, proprioreceptory, ...).



Obrázek 3 Řízení motoriky

Pro hodnocení dynamiky je z hlediska řízení motoriky v popředí volní pohyb, který není podmíněn žádným impulsem (tedy mimo pohyb reflexní). Volní pohyb, neboli self paced je iniciován především rozhodnutím probanda pohyb provést. Toto rozhodnutí spustí tzv. přípravnou fázi, kterou zajišťují kortikální a subkortikální nervové struktury. Přípravná fáze je charakterizována dobou, po kterou jsou vyhodnocovány senzorické informace. Po vyhodnocení

následuje výběr pohybového vzorce. Pohybový vzorec je sled po sobě jdoucích kroků, které vytváří určitý pohyb. Pohyb je při výkonu také korigován, díky zpětné vazbě a senzorického komponentu. Toto lze vidět i při kresbě, kdy je jedinec schopný sledovat tužkou zaznamenaný pohyb své ruky. [4]

V rámci kresby lze zaznamenat i výkyvy od normálního plynulého kreslení způsobené motorikou. Ve většině případů se jedná o jednu z forem abnormálního pohybu, dyskineze.

Jednou z forem dyskinezí, které je možno hodnotit kresbou je tremor (třes), který se řadí mezi hyperkinetické dyskineze. To znamená, že se jedná o opakující se nestrukturované dyskineze. Tremor vzniká působením rytmické aktivity recipročních svalů. V této práci je předmětem zájmu především task-specific tremor, který vzniká především při pohybu během psaní či kresby a tedy může ovlivnit výsledný obraz kresby. Tremor se pohybuje ve frekvenčním rozmezí 5-7 Hz. Hodnocení tremoru v kresbě již bylo využito pro diagnostiku nemocí a bylo součástí např. testu podle Fahna. V tomto testu má pacient spojit body tahem, přičemž nesmí přesáhnout kontury. Na základě počtu přesahů kontur a plynulosti linie bylo stanoveno skóre vypovídající o schopnosti splnit úkol a míře tremoru. [4][5][6]

### **1.3 Testy hodnocení kresby**

Jak již bylo zmíněno, kresba je oblíbenou kreativní a rekreační činností jak dětí, tak dospělých. Je výsledkem senzomotorické koordinace a jemné motoriky. Dále je indikátorem úrovně schopností zrakového vnímání, představivosti či paměti. Ze všech těchto hledisek má velkou výpovědní hodnotu. Prostřednictvím kresby lze odhalit projevy psychických, ale i fyzických poruch. Kresbou lze rovněž hodnotit mnoho osobnostních rysů jedince.

Z fyzických poruch se jedná o poruchy centrální nervové soustavy, které se následně projevují např. neschopností nakreslit spojitou plynulou čáru. Toto je způsobeno např. již zmíněným třesem, dalšími dyskinezemi, které mohou být způsobeny celou řadou mitochondriálních a metabolických encefalopatií např. Wilsonovou nebo Parkinsonovou chorobou. [4]

Z psychických poruch, které se dají diagnostikovat, lze jmenovat především schizofrenii.[7] Z hlediska psychologického lze také určit podle kreseb jedinců také jejich osobnostní rysy.

Z kresby obecně lze odhadnout i psychický vývoj jedince a odhadnout zařazení do stadia vývoje jedince. Proto kresbu lze použít jako diagnostický prostředek psychologie při testování postižených dětí.



Dalším důvodem užití kresby jako diagnostického prostředku je skutečnost, že dítě není kresbou psychicky stresováno. Děti povětšinou kreslí rády, proto je nemusíme nutit. U jiných testů skládajících se např. z různých otázek, dítě cítí stres, je nervózní a bojí se, že by mohlo odpovědět špatně.

Zařazení dítěte do určitého stadia vývoje podle kresby poprvé učinil G. H. Luquet [8]. Jednotlivá stadia kreseb v určitém věku lze popsat:

0 - 2 roky	Čmáranice	V období čmáranic je pro dítě tužka pouze prodloužením své ruky. Obsah kresby je bez předmětu. Analýza kresby v tomto období může indikovat spokojenost dítěte (silné čáry po celém papíře znamenají spokojenost).
2 - 3 roky	Náhodný realismus	Dítě stále nechápe význam kreslení. V kresbě se objevuje snaha napodobit psaní dospělých.
3 - 5 let	Nepochopený realismus	Je to tzv. fáze, kdy dítě přechází na symbolickou úroveň kresby. Dítě nakreslí rovnou souvislou čáru, spojenou kružnici. Klade jednotlivé prvky vedle sebe, ale neumí si je spojit. Do této fáze patří i znaková kresba a tzv. stadium hlavonožců, kdy dítě nakreslí hlavu a trup jako celek, z něhož vychází končetiny.
5 - 7 let	Intelektuální realismus	Dítě v tomto stádiu ještě nerespektuje perspektivu. Kreslí to, co zná, tam, kde to podle něj má být (např. nakreslí obě oči tváří z profilu). Často se v tomto stádiu objevuje tzv. transparentní kreslení (např. na obrázku domu vidíme i přes zeď postavu).
7 - 12 let	Zrakový realismus	Od 7 let se u dětských kreseb objevuje i perspektiva. Kresby začínají být objektivní. Od 9 roku dítě zakresluje i zobrazení prostoru.
Od 12 let	Období stagnace	Zájem o kresbu upadá s nástupem puberty a dochází tak k potlačení kresebného projevu. V tomto období dítě se zájmem zdokonaluje své techniky kresby. [17]

Na základě těchto popisů jednotlivých vývojových stádií lze zhodnotit, zda je vývoj dítěte normální, popř. opožděný.

Mezi testy k hodnocení vývoje, inteligence a senzomotorických vlastností patří test podle Goodenoughové, test Fayové a také kresby obkreslování.

### ***Test Goodenoughové***

Tento test spočívá v kresbě lidské postavy, mužské a ženské. Kresba je hodnocena po obsahové a formální stránce. Po stránce obsahové se hodnotí kvalita kresby, detaily (oblečení jednotlivé části těla). Celkově se hodnotí 15 položek. Z formálního hlediska se hodnotí 20 položek, jedná se o proporce těla nebo spojení jednotlivých částí těl. Celkové skóre udává odhad rozumových schopností dítěte. Lze říci, že při nižším formálním skóre se jedná o neurologické postižení či zrakové vady. V případě nižšího obsahového skóre se jedná o emoční a adaptační poruchy vzniklé především sociokulturním prostředím. Na základě tohoto testu jsme schopni dítě přiřadit k určitému mentálnímu věku a následně určit inteligenční kvocient jako podíl mentálního a reálného věku. [16]

### **1.3.1 Testy obkreslování**

Testy obkreslování jsou ideální k hodnocení dynamiky kreslení a senzomotorických schopností dítěte. Na jejich základě lze rovněž hodnotit jejich inteligence. Patří zde Matějčkův test, test Benderové, Standford Binetův test, test Bentona. Testy obkreslování spočívají v překreslování obrazců, které mají děti celou dobu k dispozici, děti tedy nevyužívají svou paměť. Cílem obkreslovacích testů je zhodnotit, jak dítě vnímá obraz a jak je schopno daný obraz překreslit. Dítě musí propojit schopnost zachycení a pochopení obrazu se svými motorickými schopnostmi.

### ***Test Benderové***

Test Bender Gestalt spočívá v reprodukci 8 komplexních geometrických obrazců, včetně vnitřně diferencovaných celků. Dítě nechápající strukturu obrazce nemůže obrazec přesně reprodukovat. Úroveň dítěte se následně pozná podle vnitřního členění kresby. Toto odpovídá i teorii podle Marrse, kdy nejprve vnímáme celkový tvar objektu popř. obrazce a následně jej členíme na jednotlivé části (viz výše, obr.) Členění a vnitřní souvislosti obrazu by si dítě již mělo začít uvědomovat od 5 let věku (viz výš Luquet). [1][8]

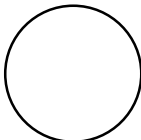
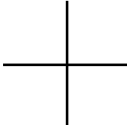

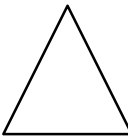
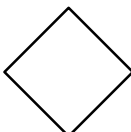
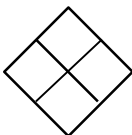
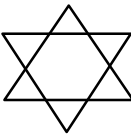
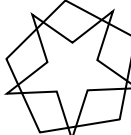
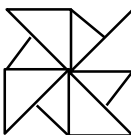
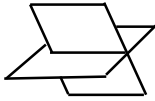
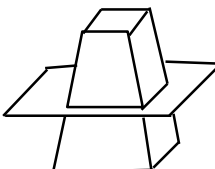
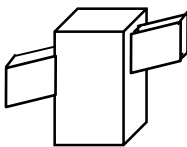
### ***Bentonův test***

Obkreslovací test obsahuje deset předloh k reprodukci. První dvě strany obsahují pouze jeden geometrický obrazec, na dalších jsou vždy dva velké obrazce a jeden malý. Existují verze A, B, C, D, E, kde v C variantě nedochází k posuzování paměťové složky. Ve variantě C má dítě obrazce celou dobu k dispozici. [18]

## Matějčkův test

Matějčkův test je u nás nejvíce používaný. V praxi byl využíván již od 60. let 20. století. Test obsahuje 12 geometrických tvarů vzrůstající obtížnosti. Test se dělí do 3 oddílů. První obsahuje jednoduché geometrické obrazce, druhý oddíl obsahuje obrazce s vnitřním členěním a třetí oddíl, tedy 10. až 12. tvar již obsahuje prostorovou geometrii. Ukázka obrazců je v tabulce (Tabulka 1). [9]

**Tabulka 1** Tabulka obrazců pro Matějčkův test

1. oddíl				
				
2. oddíl				
				
3. oddíl				
				

Test se užívá pro děti do 12 let, jelikož poté už dochází k stadiu stagnace kresebného projevu. Lze tedy děti klasifikovat do určitého mentálního věku podle skóre, které se určuje pro dané 3 oddíly testu. Celkový možný počet získaných bodů je 34. Z dostupných studií podle Matějčkova testu lze vidět postupný vývoj kresby dětí a také diferenciaci kreseb dětí určitého věku v konkrétním oddílu (Tabulka 2). [9]

**Tabulka 2 Výsledky studií podle Matějčkova testu [9]**

	6 let	7 let	8 let	9 let	10 let	11 let	12 let	13 let
Oddíl 1								
Průměr bodů	6,45	8,30	8,79	9,01	9,59	9,85	9,86	9,88
SD	2,15	1,87	1,41	4,20	1,05	0,56	0,36	0,21
Oddíl 2								
Průměr bodů	0,42	2,82	4,03	5,28	7,02	8,51	9,94	10,26
SD	1,01	2,04	2,55	2,56	2,39	2,51	1,79	1,50
Oddíl 3								
Průměr bodů	0,00	0,00	0,25	1,42	2,44	4,55	5,50	6,07
SD	0,00	0,00	0,67	1,27	2,42	3,65	3,15	3,15

Pro interpretaci tabulkových hodnot lze říci, že největší diferenciaci vykazují mladší děti (věk 6 let) v prvním oddílu testu, děti mezi 8-10 lety v oddílu 2 a děti od 11 let ve třetím oddílu. To znamená rozličné individuální vývoje dětí v období, kdy se má kresba vyvíjet (lze vidět z hodnot SD v tabulce Tabulka 2). Pro zobecnění tabulky lze říci, že čím starší dítě, tím vyšší skóre ve vyšším oddílu testu.

#### **1.4 Analýza průběhu kresby**

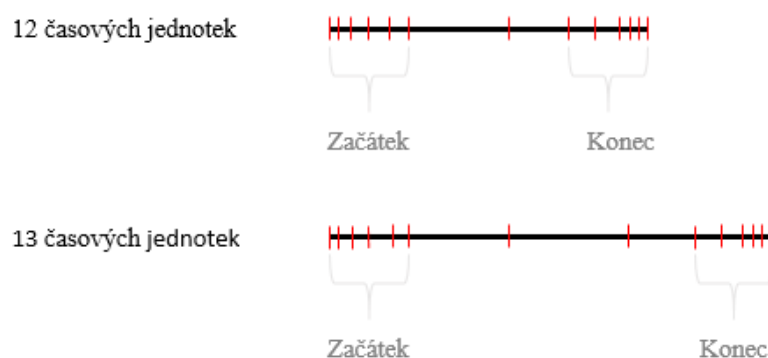
K hodnocení dynamiky kreslení slouží ideálně testy obkreslování. Na jejich základě lze hodnotit, jak dítě vnímá obraz, jak jej člení a následně skládá, obecně lze hodnotit senzomotorické schopnosti dítěte. S novými technickými postupy lze zachytit časovou posloupnost kresby. To znamená, že lze analyzovat, jak dítě přemýšlí, jak postupuje při kresbě, plynulost kresby a tedy celkovou dynamiku kreslení. Následně lze získat i klasickou analýzu distorze kresby.

### 1.4.1 Kvantifikátory časového průběhu kresby

V rámci dynamiky kreslení lze z časového hlediska hodnotit kresbu dvěma způsoby. Prvním je hodnocení kresleného obrazu jako celku. Je otázkou, zda dítě začíná obrysem a následně zakresluje detaily a vnitřní členění vnímaného obrazu, popř. zda začíná detaily, následně se snaží přejít k obrysu. V druhém případě často dochází k chybám, kdy vzniklý obraz proporcionálně neodpovídá předloze, popř. dítě není schopno dané části propojit do sebe. Druhým způsobem hodnocení je hodnocení jednotlivých primitiv, tedy časového průběhu kreslení přímk, křivek či kružnic. V rámci obou způsobů hodnocení je možno stanovit určité kvantifikátory kresby, kterými je možno se v hodnocení řídit.

#### *Časové kvantifikátory primitiv*

- Celková doba kreslení jedné čáry – tento kvantifikátor lze hodnotit zejména z hlediska populačního, kdy lze srovnávat čas kreslení čáry v daném vzorku populace. Kvantifikátor má výpovědní hodnotu i v rámci testu jednoho probanda. V tomto případě indikuje časové změny kresby čar při postupném kreslení obrazců v průběhu testu obkreslování. Následkem únavy či soustředění probanda na nakreslení čáry stejné délky se doba pro kresbu může v průběhu testu prodlužovat. Zkrácení doby kresby čáry může naopak ukazovat ztrátu soustředění probanda a snahu ukončit test.
- Celková doba kreslení čar různých délek – nejdelší časové intervaly při kresbě čar jsou na začátku a na konci kresby, tedy v době, kdy se proband soustředí na zakreslení přesné pozice začátku a konce čáry. Doby kreslení začátku a konce čáry trvají při kreslení čar přibližně stejnou dobu a představují největší část celkového času kresby čáry. Prostřední část kresby přímky trvá pouze malou část časového intervalu celé kresby, a proto jsou časové rozdíly mezi kresbou kratší a delší čáry zanedbatelné (viz Obrázek 4).



Obrázek 4 Časová závislost kresby čar různých délek

- Doba kreslení křivek různých složitostí – kresba čáry bez jakýchkoli zakřivení by měla teoreticky trvat kratší dobu než kresba zakřivené čáry, kterou se dítě snaží při testu napodobit.

### ***Časové kvantifikátory celého obrazce***

- Celková doba kresby obrazce – celková doba kresby zahrnuje časový interval od začátku po konec kresby, tedy kresbu včetně pauz.
- Celková doba kreslení – zahrnuje interval bez pauz, tedy celkovou dobu, kdy proband kreslí.
- Celková doba pauz – zahrnuje celkový časový interval skládající se pouze z pauz, kdy dítě nekreslí. Udává výpovědní hodnotu z hlediska váhání a přemýšlení dítěte nad obrazem a postupem samotné kresby.
- Poměr celkové doby kreslení a pauz.
- Posloupnost vzniku kresby – na základě časového průběhu kresby lze identifikovat pořadí vzniku jednotlivých primitiv, tedy postup dítěte při kresbě. Záleží, zda dítě kreslí jako první obrys a pak detaily (př. slunce – kruh a poté paprsky, obličej – kruh poté oči a ústa). V případě, že dítě kreslí nejprve oči, úsměv a potom kolečko (označující hlavu), mohou vzniknout deformity obrazu, kdy obličej bude položen příliš vysoko v rámci obrazu hlavy. Typický postup kreslení primitiv tak, aby vznikl správný obrazec, lze stanovit na základě analýzy statisticky významné množiny vzorku probandů bez mentálních poruch.

### **1.4.2 Kvantifikátory distorze kresby**

V rámci hodnocení dynamiky kreslení nelze hodnotit pouze čas, v jakém kresba vznikala, ale musí být zároveň zohledněna míra distorze kresby. Obraz, který byl překreslen rychle, nemusí být správně. Míru distorze lze vyjádřit kvantifikátory distorze kresby.

#### ***Kvantifikátory distorze v rámci primitiv:***

- Klikatost čáry – čára není plynulá, jsou zde patrné přesahy a ostré zuby. Klikatost může být následkem dyskinezí, např. tremoru či tiků. Taktéž ale může být následkem váhání dítěte. Ukázka na následujícím obrázku (Obrázek 5)



**Obrázek 5 Klikatost čáry**

- Členitost čáry – čára v obrazci je členěna do několika částí. Členitost čáry je způsobena následkem váhání, popř. špatné vizuální percepce obrazu. (Obrázek 6)



**Obrázek 6 Členitost čáry**

- Vícenásobná čára – existuje více variant více násobné čáry. Tzv. čára navíc může kopírovat celý průběh korektní čáry nebo pouze její část, dále čára může křížovat korektní čáru, popř. čar navíc může být mnoho. Vícenásobné čáry jsou důsledkem opravování, popř. zvýrazňování výsledného obrazce. (Obrázek 7)



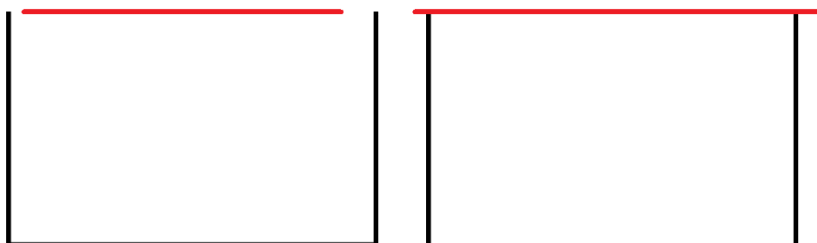
**Obrázek 7 Vícenásobná čára**

- Rozkmit čáry - čára se liší od přímky, ale nejsou na ní patrné ostré zuby. Jde o postupně vznikající výkyv nejkratší dráhy mezi koncovými body s postupným návratem k této dráze. V čase nejsou patrné nespojitosti, čára je nakreslena plynule. Dítě “nebojovalo” s vlastní motorikou. (Obrázek 8)



Obrázek 8 Rozkmit čáry

- Nedotažení/přetažení – čáry nejsou dotaženy nebo naopak jsou přetaženy. V případě nedotažení pak nevznikne spojený obrazec daný předlohou. (Obrázek 9)



Obrázek 9 Nedotažení a přetažení čáry

### ***Kvantifikátory distorze v rámci obrazce***

- Úhel vedené čáry – místo čtverce vznikne následně libovolný čtyř-úhelník
- Proporce primitiv – některá primitiva jsou zmenšená, jiná zvětšená. To má za následek distorzi obrazu.
- Proporce obrazce – obrazec, popř. jenom jeho část je zmenšená nebo zvětšená.
- Hodnocení počtu pokusů – dítě začne 3x, ale špatně, na 4. pokus obrázek dokreslí.



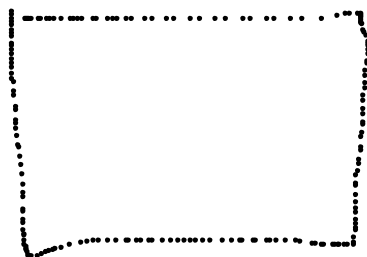
## 2 Návrh metody segmentace vznikající kresby

Pro návrh metody segmentace vznikající kresby je nejprve nutno analyzovat průběh kresby. Proto na základě metody z kapitoly 5 byly naměřeny požadované informace (prostorové a časové souřadnice kresby). Probandi měli za úkol nakreslit jednoduchý obrazec, v tomto případě čtverec, na kterém lze analyzovat průběh kresby. Na obrázcích jsou demonstrována získaná data nakresleného geometrického obrazce (Obrázek 10, Obrázek 14) pro následující analýzy. Následně na základě provedené analýzy je stanovena metoda pro segmentaci úseků postupně vznikající kresby.

Pro návrh metody segmentace vznikající kresby využíváme dvou analýz – poziční a časové.

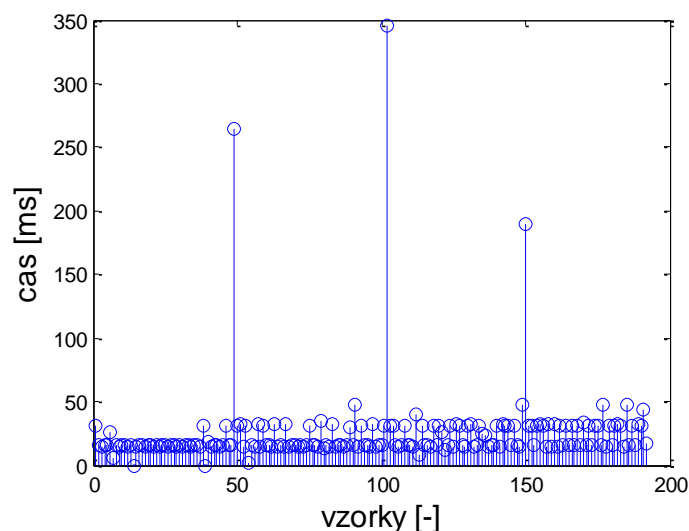
### 2.1 Analýza časového průběhu kresby

Předpokladem analýzy je delší časová prodleva mezi jednotlivými kresbami primitiv – úseček a kružnic. Přestože kresba vzniká jedním tahem spojitou kresbou, v úhlech geometrických obrazců dochází ke zpomalení kresby či k úplnému zastavení pro tvorbu úhlu. V bodě zastavení končí kresba úsečky nebo celého obrazce, popř. začíná kresba dalšího primitiva.



Obrázek 10 Získaná data kresby

Na základě získaných dat (Obrázek 10), obsahujících i časovou informaci kreslených bodů je provedena časová analýza kresby. Na základě časových prodlev mezi body určí koncové body jednotlivých primitiv. Velikosti prodlev mezi body (Obrázek 11) jsou určeny jako rozdíl zaznamenaných časů po sobě jdoucích bodů.



Obrázek 11 Graf velikosti časových prodlev mezi měřenými body

Numerické vyjádření rozdílů prodlev v segmentu a v úhlech obrazce je zobrazeno v tabulce (Tabulka 3). Z grafu (Obrázek 11) i dostupných dat (Tabulka 3) lze vidět, že časové prodlevy v úhlech u všech probandů jsou minimálně o jeden řád vyšší než prodlevy v segmentech. Každý proband však kreslí jinou rychlostí a má jiné časové prodlevy. Proto se pro ověření statistické významnosti rozdílu v časových prodlevách užije poměrových časových hodnot. Rozdíl mezi hodnotami je statisticky významný na hladině významnosti  $p=0,028$  Wilcoxonova testu.

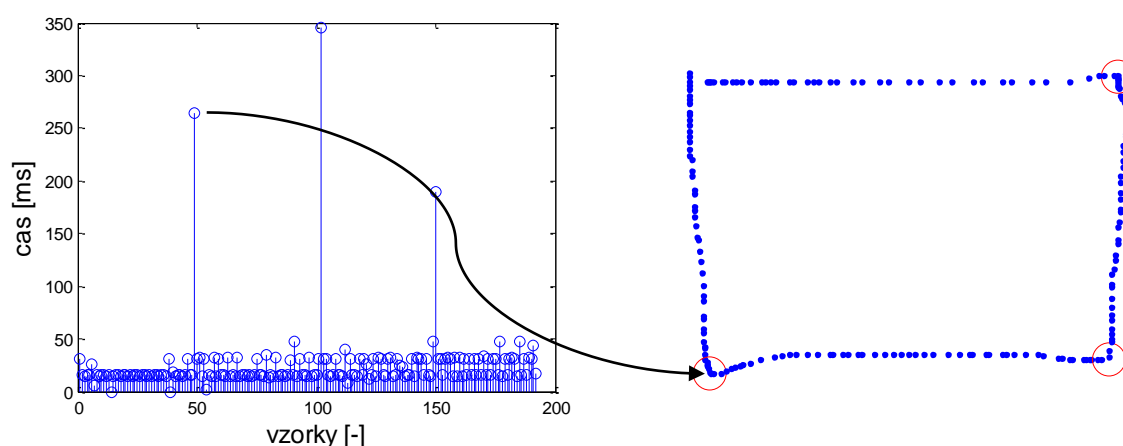
Tabulka 3 Tabulka časových prodlev mezi body vznikající kresby

	proband					
	1	2	3	4	5	6
průměr prodlev v segmentech (1-4) [ms]	17,58	30,35	22,54	24,59	23,56	22,02
průměr prodlev v úhlech čtverce [ms]	574,33	530,34	249,00	217,00	253,33	234,66

### 2.1.1 Metoda pro segmentaci úseků postupně vznikající kresby na základě časové analýzy

Na základě časové analýzy lze určit metodu pro segmentaci postupně vznikající kresby. Lze využít prodloužené prodlevy v úhlech (na základě tabulky (Tabulka 3)). Pro segmentaci je nutno stanovit práh prodlevy. Protože práh musí být adaptivní vzhledem k různé rychlosti kreslířů, je stanoven na základě směrodatné odchylky časových dat kreslené předlohy.

Pokud je velikost prodlevy mezi body větší než stanovený práh, první bod z daných bodů je určen jako bod koncový vzniklého primitiva (úsečky čtverce). Na následujícím obrázku (Obrázek 12) jsou vykresleny detekované konce primitiva původního kresleného obrazce v místech delších prodlev než je stanovený práh.

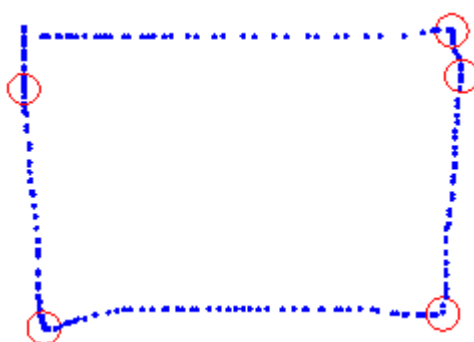


**Obrázek 12** Graf velikosti časových prodlev mezi měřenými body (vlevo), Obrazec s vyznačenými segmenty obrazce (vpravo)

Problémem metody je, že rychlost kresby jednotlivých geometrických tvarů není vždy stejná. Kvůli různé rychlosti kresby probanda musí být stanoven adaptivní práh pro segmentaci čar, vypočtený ze standardní odchylky diferencí časových vzorků kresleného geometrického tvaru.

Kresba také není mnohdy souvislá. U mnoha probandů se projevuje dyskineze popř. tremor. Projevem je zastavení kresby uprostřed úsečky a tak z původně jedné úsečky mohou vzniknout dvě. Pro tento problém je potřeba ve vzniklých segmentech porovnat směrnice vzniklých úseček, a pokud bude rozdíl minimální, bude se stále jednat o jeden segment. Ukázku problému lze vidět na obrázku (Obrázek 13), kde byly v jedné úsečce zaznamenány dlouhé prodlevy a tak i špatně detekovány konce segmentů.

Falešná hranice primitiv vzniká také pomalejší odezvou snímacího zařízení. Proband má tendenci počkat, než se kreslená čára na zařízení zobrazí a tak vznikne falešná hranice.

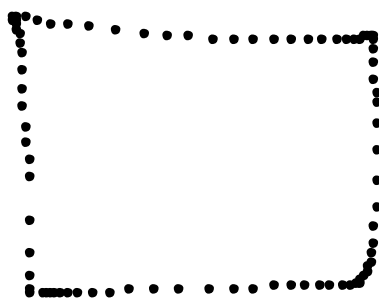


**Obrázek 13** Ukázka špatné detekce konců segmentů

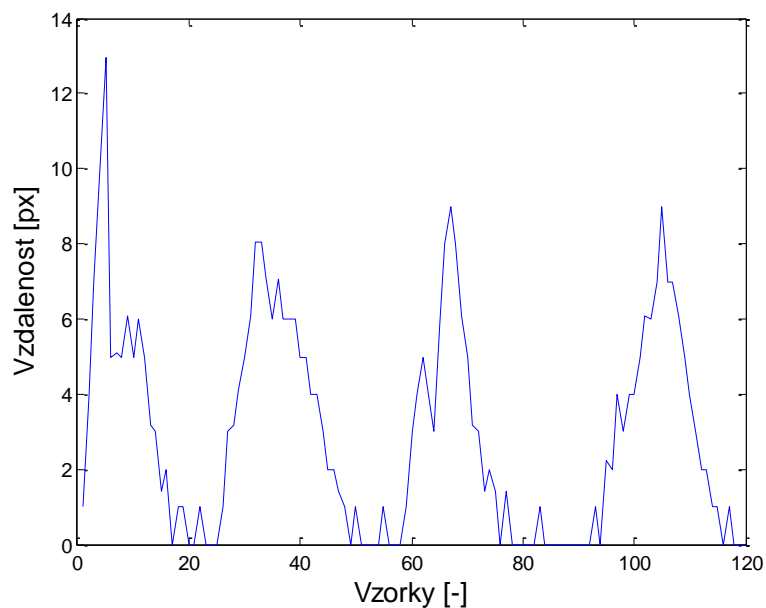
## 2.2 Poziční analýza

Vzhledem k falešným hranicím vzniklým segmentací pomocí časové analýzy lze provést ještě poziční analýzu na základě hustoty snímaných bodů. Na získaných datech - vzhledem k vzorkování dané kresby - lze vidět, že při konci kresby primitiva (při zpomalování či zastavení kresby), se hustota zachycených bodů zvětšuje a zmenšuje se zároveň difference vzdáleností mezi jednotlivými body. Místa s nejmenší poziční diferencí lze najít na základě euklidovské metriky.

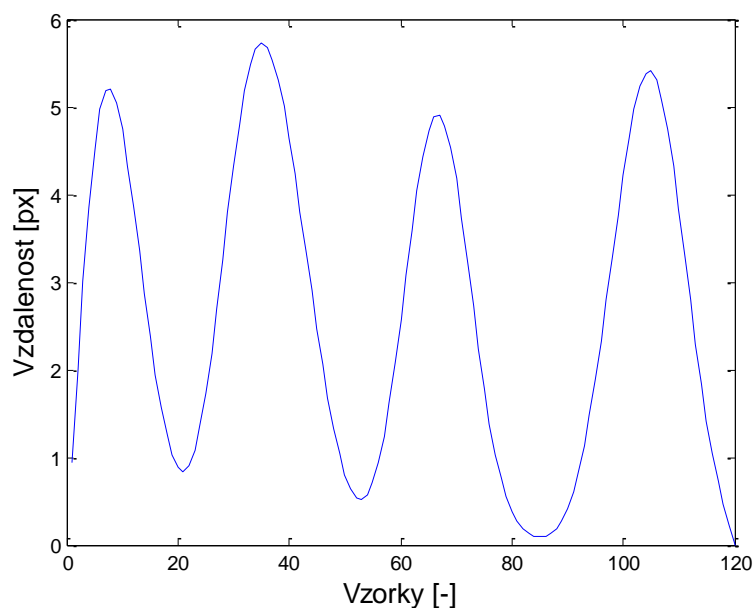
Poziční analýza vychází opět z diskrétně vzorkované kresby (Obrázek 14) a jejím základem jsou difference euklidovských vzdáleností mezi jednotlivými body. Na obrázku (Obrázek 15) lze vidět znázorněné vzdálenostní difference mezi jednotlivými body získaných dat. Protože tyto difference jako signál nemají hladký průběh, je potřeba provést filtraci. Za pomoci filtrace lze získat hladký průběh, lze vidět na obrázku (Obrázek 16) V místech s nejnižšími vzdálenostmi leží hranice primitiv.



Obrázek 14 Získaná data čtverce pro poziční analýzu



**Obrázek 15** Difference vzdáleností mezi po sobě jdoucími body body



**Obrázek 16** Difference vzdáleností mezi jednotlivými po sobě jdoucími body po použití filtru (dolní propust)

Pro ověření hypotézy, že se konce primitiv nacházejí v místech s minimální vzdálenostní diferencí mezi jednotlivými body, lze vzdálenosti vyčíslit a provést statistické testování. Vyčíslení vzdáleností v místech hranic primitiv a uprostřed primitiv vidíme v tabulce (Tabulka 4).

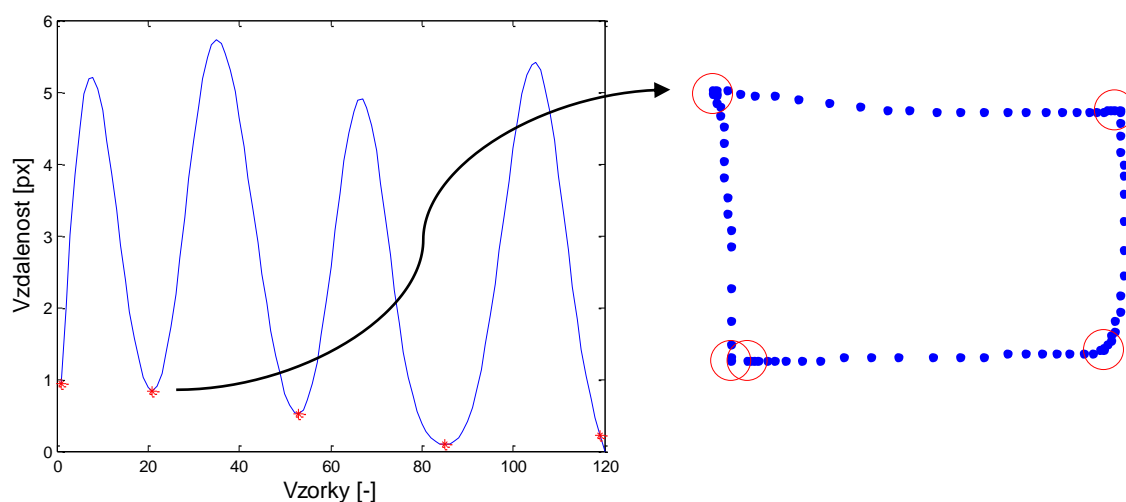
Na základě vyčíslených hodnot vzdálenostních diferencí lze potvrdit hypotézu rozdílů hodnot v segmentech a hodnot na hranici segmentu Wilcoxonovým testem na hladině významnosti  $p=0,0277$ .

**Tabulka 4** Tabulka euklidovských vzdáleností mezi po sobě jdoucími body obrazce

	proband					
	1	2	3	4	5	6
průměr vzdáleností v primitivech [px]	8,105	5,77	5,99	5,62	6,22	7,98
průměr vzdáleností v úhlech čtverce [px]	2,603	0,423	1,595	0,625	1,682	2,03

### 2.2.1 Metoda pro segmentaci úseků postupně vznikající kresby na základě poziční analýzy

Na základě poziční analýzy lze určit metodu pro segmentaci úseků postupně vznikající kresby. Vzhledem k tomu, že hranice primitiv leží v místech minimálních vzdálenostních diferencí, je potřeba nalézt minima ve filtrovaných datech z obrázku (Obrázek 16). Minima leží pod prahem stanoveným na základě standardní odchylky hodnot. Výsledná minima, na jejímž základě jsou detekovány hranice primitiv původního obrazce, jsou zobrazena na obrázku (Obrázek 17).



**Obrázek 17** detekované hranice primitiv kresleného obrazce (vpravo) na základě detekovaných minim ve filtrovaných datech vzdáleností (vlevo)

## **2.3 Srovnání metod pro segmentaci úseků postupně vznikající kresby**

Pro segmentaci kresby se jeví vhodnější metoda na základě poziční analýzy. Je to především proto, že kreslíř se může zastavit v určité části na delší dobu, což by mohlo následně zkreslit i adaptivní práh a došlo by k špatné detekci hranic primitiv.

Vzhledem ke způsobu snímání dat by na pomalejším zařízení kreslíř mohl v jednom místě čekat, než se daná čára zobrazí. V tomto případě by opět vznikla delší časová prodleva zkreslující hodnocení.

Aplikací metody na základě poziční analýzy byly získány přesnější výsledky bez detekcí falešných hranic primitiv. Proto bude dále v práci využívána metoda segmentace kresby využívající poziční analýzu.

### 3 Převedení získaných dat do idealizované vektorové formy

Ze získaných dat pro analýzu dynamiky kreslení je nutno pro zpracování převést získaná data do idealizované vektorizované podoby. K tomuto účelu existují metody vektorizace, což je proces nalezení matematické funkce nebo křivky, která nejlépe aproximuje na zadaná data. Mezi metody vektorizace patří metody algebraické a geometrické.

Algebraické metody spočívají v minimalizaci vertikální odchylky bodu od křivky (příkladem je obyčejná metoda nejmenších čtverců). Geometrické metody se vztahují především ke grafice a obrazům. Snaží se zajistit co nejlepší překrytí bodů minimalizací ortogonální vzdálenosti bodů ke křivce. To znamená, že bere v úvahu jak vertikální, tak horizontální vzdálenost na rozdíl od metod algebraických. Geometrické metody sice vyžadují velký počet iterací a nelineární výpočty, ale poskytují mnohem přesnější výsledek. Příkladem geometrických metod je úplná metoda nejmenších čtverců. [10]

#### 3.1 Vektorizace

Pro proces vektorizace zadaných bodů je nejprve nutné definovat pojem křivka, kterou je třeba zadanými body proložit. Následně je potřeba nastudovat problematiku různých způsobů vektorizace pro nejlepší výběr metody.

##### 3.1.1 Křivka a její charakteristika

Pro proces vektorizace je důležité znát pojem křivka a její charakteristiky. Křivka může být zadána analytickým předpisem, jednotlivými body nebo body řídicími. Analytický předpis křivky (dané body o souřadnicích  $x$  a  $y$ ) je vyjádřen explicitně, implicitně nebo parametricky. [11]

Explicitní vyjádření křivky:

$$\begin{aligned} y &= f(x) \\ x &\in \langle a, b \rangle \end{aligned} \tag{3.1}$$

kde  $a$  a  $b$  označuje hranice křivky.

Implicitní vyjádření křivky:

$$F(x, y) = 0 \tag{3.2}$$



Parametrické vyjádření křivky, kde  $t$  je parametr:

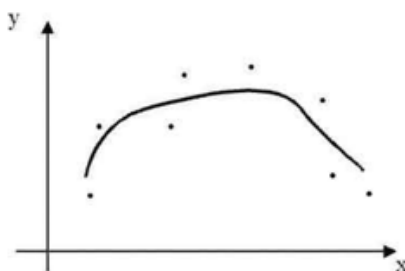
$$\begin{aligned}x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ t &\in \langle a, b \rangle\end{aligned}\tag{3.3}$$

Pro vektorizaci grafických útvarů je nejpoužívanější parametrické vyjádření křivky. Důvodem je přirozený způsob určení směru u parametricky popsaných křivek a jejich snadné nahrazení jejich po částech lineárními aproximacemi. [11]

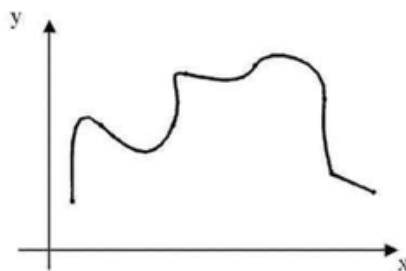
Důležitou charakteristikou pro tvorbu křivek je geometrická spojitost. Dle definice má daná křivka geometrickou spojitost třídy  $n$  (značení  $C^n$ ), pokud pro každý bod křivky existuje derivace řádu  $n$ . Aby byla křivka hladká, musí mít parametrickou spojitost alespoň prvního řádu. Geometrická spojitost je ve vektorové grafice důležitá z hlediska napojování jednotlivých segmentů křivek na sebe. Aby bylo spojení hladké, musí opět platit spojitost alespoň prvního řádu. Spojitost u napojování segmentů se určuje ze společného bodu dvou segmentů, kdy tento bod je koncovým bodem  $P(1)$  pro jeden segment  $P(t)$  a bodem počátečním  $Q(0)$  pro druhý segment  $Q(t)$ . Platí, že křivky mají spojení třídy  $C^n$ , pokud mají segmenty ve společném bodě spojitě derivace až do řádu  $n$ , tzn.:

$$\begin{aligned}\frac{d^n}{dt^n} P(1) &= \frac{d^n}{dt^n} Q(0) \\ n &> 0\end{aligned}\tag{3.4}$$

Jak již bylo zmíněno výše, křivka může být dána i jednotlivými body. V případě zadání jednotlivými body se pak hledá křivka metodami interpolačními či aproximačními. Metody interpolace prochází všemi zadanými body a metody aproximační křivku danými body pouze prokládají a křivka nemusí danými body procházet (Obrázek 18, Obrázek 19). [11]



Obrázek 18 Aproximace [12]



Obrázek 19 Interpolace [12]

Mezi metody vektorizace v počítačové grafice patří polynomiální křivky. Mezi polynomiální křivky se řadí interpolace obecným algebraickým polynomem, Hermitova interpolace, nebo aproximační metoda nejmenších čtverců. Obecně užívanější křivky pro počítačovou grafiku jsou křivky parametrické, mezi které patří Bézierovy křivky, B-spline křivky nebo i NURBS křivky. [11]

### 3.1.2 Polynomiální křivky

Křivky polynomiální jsou určeny polynomem  $n$ -tého řádu  $P_n$ , který je dán největší mocninou a  $a_0, a_1, \dots, a_n$  jsou koeficienty.

$$P_n(t) = a_0 + a_1 t + \dots + a_n t^n \quad (3.5)$$

Nejjednodušší metodou vektorizace pro bodová vstupní data s využitím polynomiálních křivek je interpolace algebraickým polynomem. Výstupem metody pro  $n+1$  zadaných bodů bude interpolační polynom  $n$ -tého stupně. Výsledný interpolační polynom se získá z výpočtu v maticovém zápisu:

$$\begin{bmatrix} 1 & \dots & x_1^n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & x_n^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_0 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Pro získání funkční hodnoty v libovolném bodu křivky se používá zobecněný tvar interpolace algebraickým polynomem, tzv. Lagrangeův tvar polynomu:

$$P_n(x) = \sum_{i=0}^n y_i \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j} \quad (3.7)$$

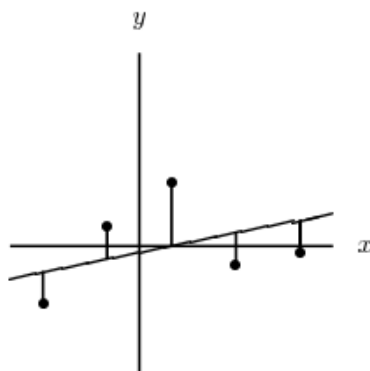
Tato metoda má sklony k nechtěným oscilacím při vyšších stupních polynomu. Pro omezení těchto oscilací se užívá interpolace po částech s využitím polynomů nižších stupňů (např. polynomy 3. stupně, tedy kubické polynomy). Podmínkou této interpolace je však zajištění určitého stupně spojitosti daných křivek. Druhým způsobem omezení oscilací je využití interpolačního Hermitova polynomu, kdy je výsledný tvar křivky zadán nejen řídicími body, ale také derivacemi v příslušných bodech. [11]

Interpolační metody nejdou použít vždy, jelikož pro některá data neexistuje interpolační polynom, který by zahrnoval všechny zadané body. Interpolace také nelze použít v případě, kdy zadaná data nesplňují definici funkce, tedy pro zadanou  $x$  souřadnici existuje více funkčních hodnot. Proto se interpolace pro analýzu kresby nehodí a je nutné použít aproximační metodu. Polynomiální aproximační metodou je metoda nejmenších čtverců. [11]

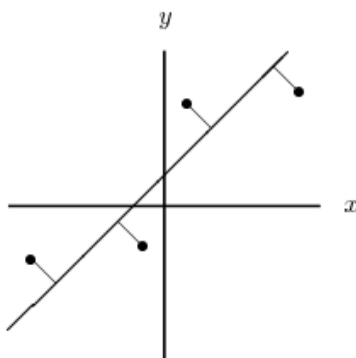
### 3.1.3 Metoda nejmenších čtverců

Jak již bylo řečeno, metoda nejmenších čtverců je polynomiální aproximační metoda. Metoda je založená na principu minimalizace odchylek a cílem metody je tedy minimální součet druhých mocnin vzniklých odchylek při prokládání dat křivkou.

Existují dvě metody nejmenších čtverců: metoda nejmenších čtverců a metoda úplných nejmenších čtverců. Metoda úplných nejmenších čtverců se řadí mezi metody geometrické, které jsou obecně vhodnější pro vektorizaci v počítačové grafice. Důvodem je upravené kritérium minimalizace, které bere v potaz jak vertikální, tak horizontální souřadnice. Grafické znázornění rozdílu těchto dvou metod lze vidět na obrázku (Obrázek 20, Obrázek 21).



Obrázek 20 Obyčejná metoda nejmenších čtverců [13]



Obrázek 21 Metoda úplných nejmenších čtverců [13]

Pro algebraické srovnání rozdílných minimalizačních kritérií je uveden příklad pro lineární aproximaci  $Ax \approx B$ , kde  $A$  a  $B$  jsou daná data a  $x$  je neznámé. [14] Pro obyčejnou metodu nejmenších čtverců platí minimalizační kritérium:

$$\min_x \|Ax - b\|^2 \quad (3.8)$$

Pro metodu úplných nejmenších čtverců platí kritérium, které minimalizuje součet vážených druhých mocnin reziduí:

$$\min_x \frac{\|Ax - b\|^2}{\|x\|^2 + 1} \quad (3.9)$$

Pro snadnější výpočet je rozšířenější obyčejná metoda nejmenších čtverců. Obecné vyjádření aproximačního polynomu  $k$ -tého stupně o hledaných koeficientech  $a_0, a_1, \dots, a_k$ :

$$y(x) = a_0 x^k + a_1 x^{k-1} + \dots + a_k \quad (3.10)$$

Pro polynom  $k$ -tého stupně pak existuje minimalizační kritérium, které lze vyjádřit reziduální funkcí

$$\delta = \sum_{i=0}^n (a_0 x_i^k + a_1 x_i^{k-1} + \dots + a_k - y_i)^2 \quad (3.11)$$

Koeficienty aproximačního polynomu se získají ze soustavy rovnic vzniklé parciálními derivacemi reziduální funkce podle proměnných  $a_0, a_1, \dots, a_k$ .

### 3.1.4 Parametrické křivky – Bézierova křivka

Pro modelování křivek v počítačové grafice jsou nejideálnější křivky parametrické, které jsou dány řídicími body, popř. i řídicími vektory. [11]

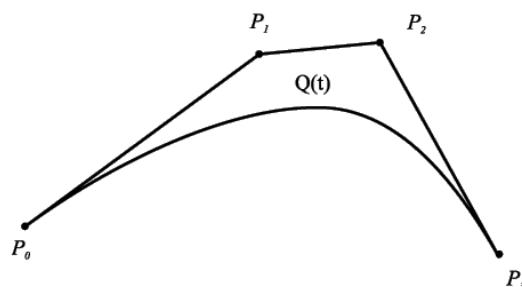
Parametrické křivky dané řídicími body a jejich tečnými vektory jsou Fergusonovy křivky a zároveň B-spline křivky, které vychází z Fergusonových. Parametrické křivky dané pouze řídicími body jsou Bézierovy křivky.

Pro  $n+1$  řídicích bodů  $P$  se Bézierova křivka zapíše jako

$$Q(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_i^n(t) \quad (3.12)$$

$$t \in [0, 1]$$

kde  $B_i^n$  je báze funkce vypočtena na základě Bernsteinových polynomů. Nejčastěji využívaná je Bézierova křivka 3. řádu (Obrázek 22).



Obrázek 22 Bézierova kubika (křivka 3. řádu) [12]

## 3.2 Vektorizace v rámci aplikace

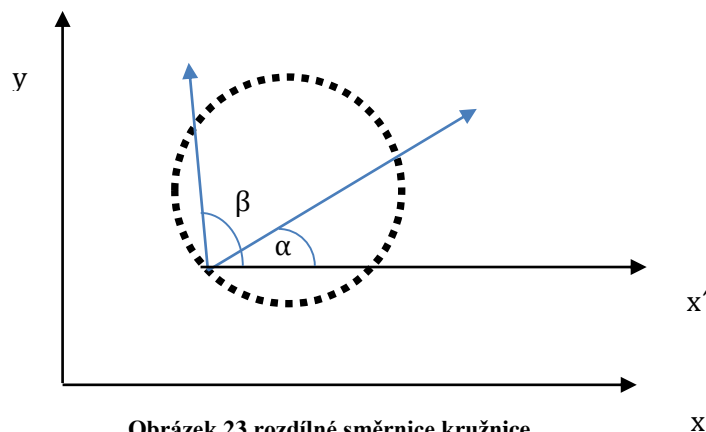
V rámci této práce je potřeba vektorizovat získaná data, tedy jednotlivé body, do podoby geometrických křivek. Konkrétně pro tuto práci je plně dostačující vektorizace do geometrických primitiv – přímek a kružnic popř. půlkružnic. Důvodem je užití jednoduchých tvarů v obkreslovacím testu, popsaném v kapitole 4.

### 3.2.1 Kategorizace přímek a kružnic

Při vektorizaci kružnic a přímek je nejprve nutné odlišit tato dvě geometrická primitiva od sebe. To je možné dvěma způsoby – na základě směrnic primitiv, popř. na základě průměrné vzdálenosti bodu kresby od ideálního primitiva.

#### *Rozlišení přímky a kružnice na základě směrnic*

Kategorizaci na přímku a části kružnic, popř. na kružnici lze určit výběrem tří bodů z dat jednoho segmentu určeného z časové analýzy. Z těchto bodů se vytvoří dvě přímky a následně se určí jejich směrnice. Pokud budou mít vzniklé přímky stejnou směrnici, výsledný segment časové analýzy bude přímkou, v opačném případě bude kružnicí či částí kružnice. Na obrázku (Obrázek 23) lze vidět určení přímek na základě výběru tří bodů a vytvoření přímek.



Obrázek 23 rozdílné směrnice kružnice

Směrnice na obrázku jsou dány tangentou příslušných úhlů a lze je získat výpočtem bodů z daných přímek za pomoci rovnice (3.13):

$$y = kx + q \quad (3.13)$$

kde  $k$  je směrnice přímky a  $q$  je vertikální posun. Z reálných dat však směrnice nikdy nebudou totožné. Proto, aby bylo výsledné primitivum vyhodnoceno správně jako přímka, musí se výsledné směrnice lišit méně, než o předem nastavenou odchylku.

### ***Rozlišení přímky a kružnice na základě chyby***

Další způsob určení kresebného primitiva využívá chybu. Chybou je označována průměrná vzdálenost bodů od ideálního primitiva. Hranice příslušného primitiva se proloží přímkou a zjistí se obecná rovnice získané přímky (3.14)

$$ax + by + c = 0 \quad (3.14)$$

kde  $a, b, c$  jsou koeficienty přímky. Dále se určí průměrná vzdálenost bodů primitiva od získané přímky  $\bar{d}$  na základě rovnice (3.15)

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ax_{a_i} + by_{a_i} + c}{\sqrt{a^2 + b^2}}}{n} \quad (3.15)$$

kde  $n$  je počet bodů primitiva,  $a, b, c$  jsou koeficienty obecné přímky,  $x_a$  a  $y_a$  jsou souřadnice bodu primitiva. Tuto průměrnou vzdálenost bodu od přímky lze brát jako chybu od ideálního primitiva (předpokládané přímky).

Pokud je průměrná vzdálenost bodů větší než zadaná hodnota, pak se nejedná o přímku ale o kružnici, popř. její část.

Pro srovnání těchto dvou metod lze říci, že je pro praktickou část vhodnější užít metodu kategorizace na základě chyby. Důvodem je především obecná rovnice, která lze použít vždy, na rozdíl od směrnic, které při svislých přímkách mají hodnotu nekonečna.

### **3.2.2 Vektorizace přímek**

Pro vektorizaci přímek lze použít aproximační metodu nejmenších čtverců, kdy použijeme polynom prvního stupně pro  $n$  zadaných bodů a obecně lze tedy přepsat rovnici (3.10) do tvaru:

$$y(x) = a_0x + a_1 \quad (3.16)$$

a hledáme tak koeficienty  $a_0$  a  $a_1$ , které lze obecně získat řešením maticové rovnice:

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i x_i \\ \sum_{i=1}^n y_i \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Tímto způsobem lze získat přímku aproximující zadaná data.

Po použití této metody na daná data po segmentaci na kresebná primitiva by mohly vzniknout distorze obrazu jako celku. Důvodem by byl vznik nespojitostí uzavřeného obrazu. A proto vzhledem k hodnocení nespojitostí při kresbě uzavřeného obrazce tento způsob lineární regrese nelze použít.

Pro správnou návaznost kresby je nutné, aby počáteční a konečné body segmentů zůstaly zachovány. Proto tyto body určují danou přímku, pro kterou opět platí vztah obecného tvaru (3.14).

### 3.2.3 Vektorizace kružnic a jejich částí

Pro vektorizaci kružnic a jejich částí je vhodné volit přístup redukce do lineárního systému minimalizací druhých mocnin rozdílů bodů od ideálního tvaru.

V této metodě je užito minimalizačního kritéria (3.18), kdy součet druhých mocnin obsahových rozdílů  $Q$  musí být minimální

$$\sum_{i=1}^n Q_i^2 = \min \quad (3.18)$$

$$Q_i = (x - c_1)^2 + (y - c_2)^2 - R^2$$

kde  $c_1$  a  $c_2$  označují střed kružnice,  $R$  určuje velikost poloměru kružnice a  $m$  počet bodů primitiva.

Obecnou rovnici kružnice (3.19) lze přepsat do následujícího tvaru (3.20), kdy dosazením souřadnice každého bodu lze dostat lineární soustavu rovnic přepsanou do maticového tvaru (3.21).

$$(x - c_1)^2 + (y - c_2)^2 = R^2 \quad (3.19)$$

$$2x + 2y + c_3 = -(x^2 + y^2) \quad (3.20)$$

$$\begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 2x_n & 2y_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x_1^2 - y_1^2 \\ \vdots \\ -x_n^2 - y_n^2 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Na tuto soustavu rovnic se aplikuje metoda nejmenších čtverců. Výsledkem jsou tři koeficienty, kde  $c_1$  a  $c_2$  označují střed kružnice a vzorcem (3.22) lze dopočítat poloměr  $R$ .

$$R = \sqrt{c_1^2 + c_2^2 - c_3} \quad (3.22)$$

V rámci aplikace je potřeba vektorizovat i části kružnice. Při vektorizaci částí se využívá stejné metody s rozdílem určení velikosti úhlu pro vykreslení. Dochází k výpočtu úhlu počátečního a konečného bodu od středu kružnice a následné vykreslení části probíhá ve vypočteném úseku.



## **4 Předlohy k obkreslování**

Obkreslovací testy jsou užitečným psychologickým nástrojem k odhalení poruch jemné motoriky či vnímání obrazu. Taktéž přináší informace o vyspělosti jedince, jelikož napodobení struktury odráží zralost nervového systému jedince. Krom toho přináší informace i o zrakové percepci jedince a také o propojení motoriky s vnímáním obrazu. Aby bylo možné získat tyto informace, musí být správně zvolena sada obrazců k obkreslování. [9]

### **4.1 Výběr obrazců pro obkreslovací testy**

Vybrané obrazce k obkreslování by se měly skládat převážně z přímek a nikoli z křivek. Důvodem je odhalení percepčně motorické poruchy, která se projeví při kresbě přímých čar. Užití jednoduchých obrazců složených z přímek je vhodnější i z hlediska hodnocení. Odchytky od správných tvarů se totiž lépe hodnotí na obrazech složených z přímek. [9]

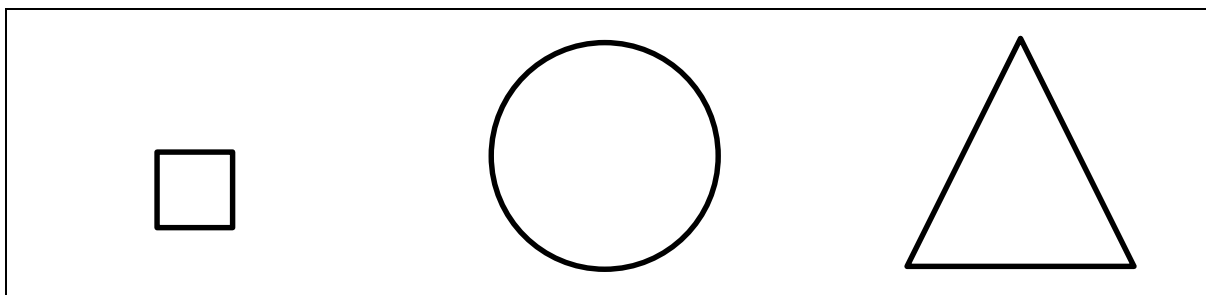
Součástí obrazců by měly být i kružnice a půlkružnice. Kružnice patří mezi tzv. cvičné tvary. [9] U kružnice se jedinec musí soustředit, aby jedním tahem nakreslil pokud možno přesný kruh a ne elipsu.

Při tvorbě sady obrazců by se mělo postupovat od nejjednodušších tvarů ke složitějším. Důvodem je zaujetí probanda k obkreslovacímu testu. Pokud by jedinci byl předložen složitý tvar hned na počátku testu, jedinec by ztratil zájem a motivaci ke kresbě. Složitější tvary jsou součástí testů z důvodu lepšího rozpoznání vyspělosti jedince.

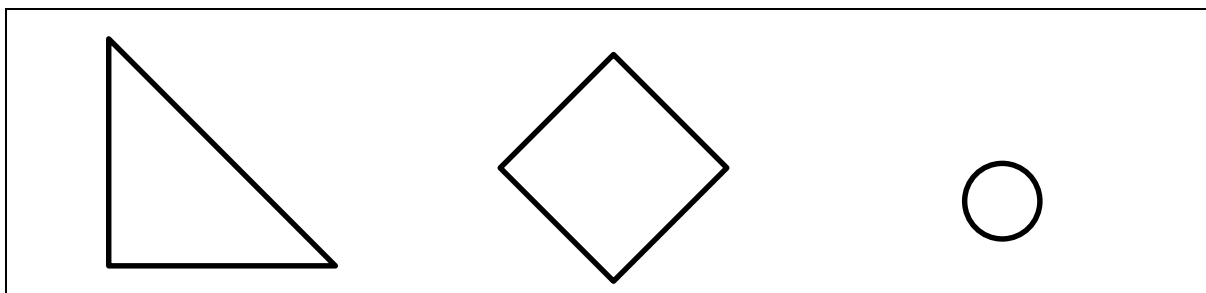
Obecně jsou v sadě použity známé geometrické tvary inspirované obkreslovacím testem podle Bentona. Na jedné předloze může být více jednoduchých obrazců. Je tak testována i prostorová orientace dítěte a vnímání rozličných velikostí jednotlivých tvarů.

### **4.2 Vykreslení tvarů**

Je vytvořeno 6 obkreslovacích předloh, které obsahují jeden až tři jednoduché obrazce. Výběr, sestavení a vykreslení jednotlivých předloh je vykresleno na obrázcích (Obrázek 24, Obrázek 25, Obrázek 26, Obrázek 27, Obrázek 28, Obrázek 29).



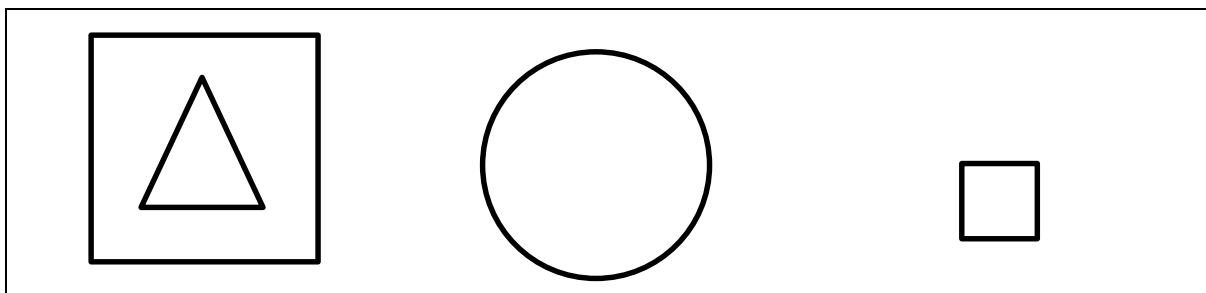
Obrázek 24 Obkreslovací předloha 1



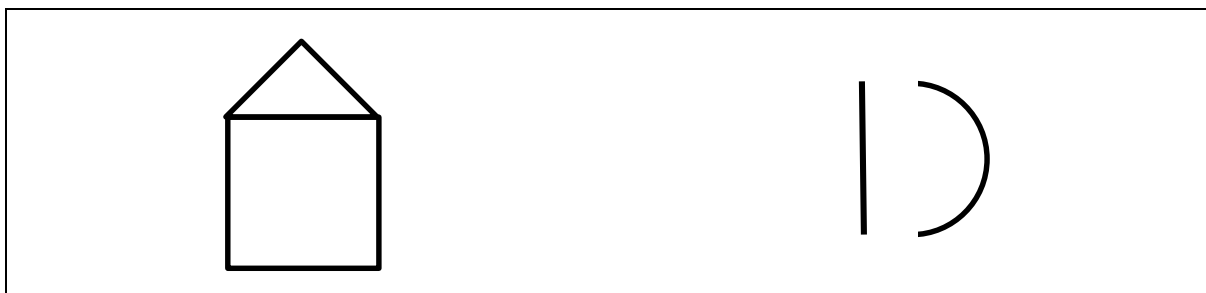
Obrázek 25 Obkreslovací předloha 2



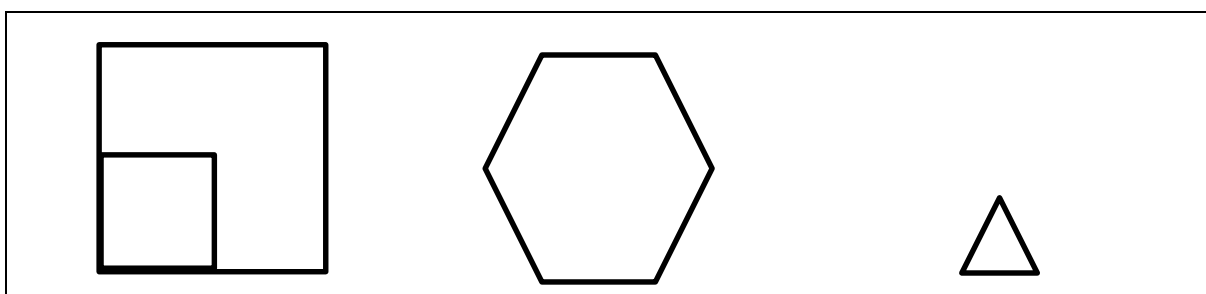
Obrázek 26 Obkreslovací předloha 3



Obrázek 27 Obkreslovací předloha 4



Obrázek 28 Obkreslovací předloha 5



Obrázek 29 Obkreslovací předloha 6

## **5 Zaznamenávání kresby**

Součástí této práce je zaznamenání kresby probandů. Zaznamenávání probíhá vybranou metodou, která umožňuje zaznamenat kresbu, tedy souřadnice  $x$  a  $y$  a současně uchovává časovou informaci vzniku kresby.

### **5.1 Metody zaznamenávání kresby**

Při zaznamenávání kresby je nutno probanda nerozptylovat a navodit mu bezstresové prostředí. Zároveň je však nutné vybrat metodu, která splní zadané požadavky. Za tímto účelem lze použít následujících metod.

Tužka Steadler umožňuje volný pohyb ruky probanda po papíře a zároveň nerozptyluje probanda, jelikož vypadá jako obyčejné propisovací pero. Dalším způsobem záznamu kresby je pomocí tabletu, stylusu a aplikace Remote, která je schopna plnit funkci myši počítače. Tablet v nynější době také tvoří přirozené prostředí jedince, jelikož je velmi rozšířený. Další dostupnou metodou je minitablen sloužící jako kreslicí podložka s příslušným perem. Všechna vstupní zařízení mohou být propojena s počítačem a programovým prostředím Matlab, který umožňuje zachycovat potřebná data.

Dalším způsobem je užít tabletu se stylusem a vytvořenou aplikací zachycující data přímo prostřednictvím tabletu. Získaná data se následně přenesou do počítače pro následné zpracování.

#### **5.1.1 Popis zvolené metody – tablet Prestigio Multipad**

Nejvíce vyhovující metoda pro zachycení dat se jeví tablet se stylusem Prestigio Multipad (Obrázek 30). V rámci této vybrané metody proband vidí zaznamenanou kresbu své ruky a na základě zpětné vazby je schopen přesnější koordinace svých pohybů. Data nahraná tabletem příslušného probanda se následně uloží do počítače a jsou zpracována vytvořenou aplikací v programovém prostředí Matlabu. Aplikace pak následně uloží data pro následné zpracování.



Obrázek 30 Prestigio Multipad

### 5.1.2 Výhody a nevýhody

Mezi výhody této metody patří snadná aplikace a zachycení všech potřebných informací. Dítě ale nemusí být zvyklé na používaný přístroj a zároveň si může začít uvědomovat testování, což mu může přivodit stres a výsledkem by byla zkreslená data.

### 5.1.3 Administrace testu

Kresby jsou zachycovány v klidném prostředí a daným subjektům je poskytnuto dostatečné množství času pro překreslení daných předloh. Pro správné zachycení dat je za potřebí, aby si daný subjekt před testem vyzkoušel kresbu prostřednictvím tabletu. U testování dětí je nutno dítě kontrolovat a případně se jej ptát, jestli je kresba úplná a jestli je možno přistoupit k další předloze, popř. test skončit.

## 5.2 Získaná data

Každá předloha je kreslena subjektem do jednoho obrázku. Po kresbě celé předlohy se obrázek uloží. Výsledkem měření je tedy sada uložených dat pro každý subjekt. Získaná data jsou textového formátu. Pro každou uloženou předlohu existuje pět textových souborů a jeden obrázkový soubor uložené kresby. Soubory jsou pojmenovány dle data a času pořízení záznamu a podle uložené informace. Textové soubory obsahují souřadnice bodů  $x$ ,  $y$  a časové souřadnice, dále obsahuje textový soubor s informacemi o pořízení souboru, např. rozměry tabletu či jméno administrující osoby. Pro příklad jedné kresby se získají data:

- 20150321150410.png
- 20150321150410t.txt
- 20150321150410x.txt
- 20150321150410y.txt
- 20150321150410info.txt
- 20150321150410d.txt

Číslo specifické pro všechny soubory jedné kresby je unikátní a značí datum a čas pořízení záznamu kresby.

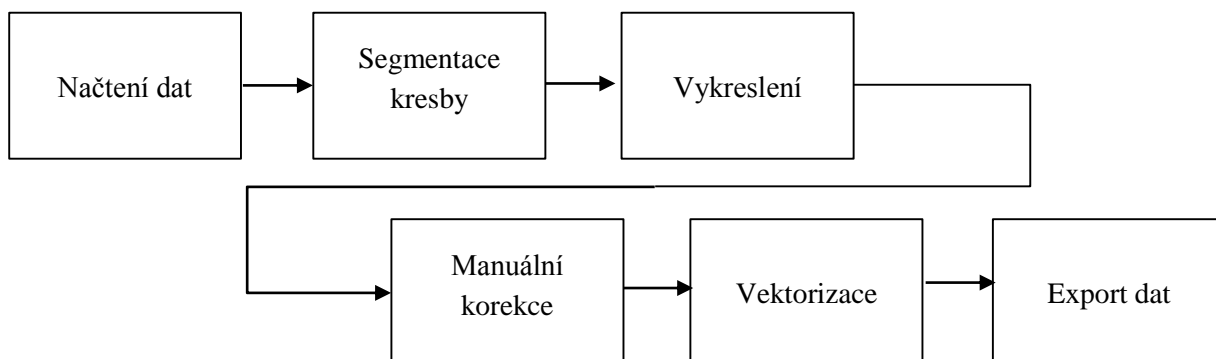
## 6 Aplikace pro segmentaci a vektorizaci kresby

Cílem je vytvořit aplikaci pro segmentaci a vektorizaci primitiv obrazců z předloh z kapitoly 4. Aplikace by měla být uživatelsky jednoduchá a zároveň musí splňovat požadavky pro vektorizaci a export zpracovaných dat pro následné zpracování, klasifikaci a hodnocení dat. Pro tvorbu aplikace je využíváno programové prostředí Matlab.

### 6.1 Vývoj aplikace

V rámci tvorby aplikace je potřeba načíst data v textovém formátu získaných přenosem dat z tabletu do počítače. Tento přenos je potřeba provést manuálně.

Po načtení dat dochází k segmentaci obrazců jednotlivých předloh na spojitě kreslené obrazce a následně poté i na jednotlivá primitiva na základě zvolené analýzy. V rámci aplikace je vybrána poziční analýza (kapitola 2.2). Poté následuje vykreslení kresebných dat se zaznačenými hranicemi primitiv. Po vykreslení je možnost manuální korekce, kdy je uživatel schopen upravit hranice primitiv. Po této korekci následuje vektorizace dat a následný export dat do \*.m souboru, který může být využit pro další zpracování, klasifikaci a hodnocení. Blokové schéma celé aplikace lze vidět na obrázku (Obrázek 31).



Všechny funkce se spouští hlavním skriptem *Program.m*, který představuje grafické rozhraní celé aplikace. Přes tento soubor lze načíst data, která jsou následně zpracována. Grafické rozhraní programu je popsáno v kapitole 6.2.

### 6.1.1 Načtení dat

Ke každé kreslené předloze existuje záznam několika textových souborů popsanych v kapitole 5.2. V rámci načtení dat se zpracovávají ASCII soubory kreslených předloh z vybrané složky.

Pro načtení dat slouží funkce *Nahrat\_Data.m*. Funkce na základě čísla specifického pro záznam kresby zjistí přesný počet kreseb ve složce, pomocí příkazu:

```
Kresby = unique(arrayfun(@(i) num2str(sscanf(Soubory(i).name, '%ld')),  
3:length(Soubory), 'UniformOutput', false));
```

Funkce dále načte souřadnice x, y a t pro každou kresbu do struktury Data pomocí

```
Data(i).j = cell2mat(textscan(FID, '%f', 'delimiter', {'[', ']', ','},  
'MultipleDelimsAsOne', 1));
```

Pro následné zpracování a vykreslení je nutno i zjistit rozměry kreslicí plochy, které jsou uloženy v souboru 20150321150410info.txt. Rozměr vertikální měřicí plochy se určí příkazem:

```
Data(i).canvasHeight = sscanf(Radka_textu, ' Vertikalni rozmer kreslici  
plochy: %i');
```

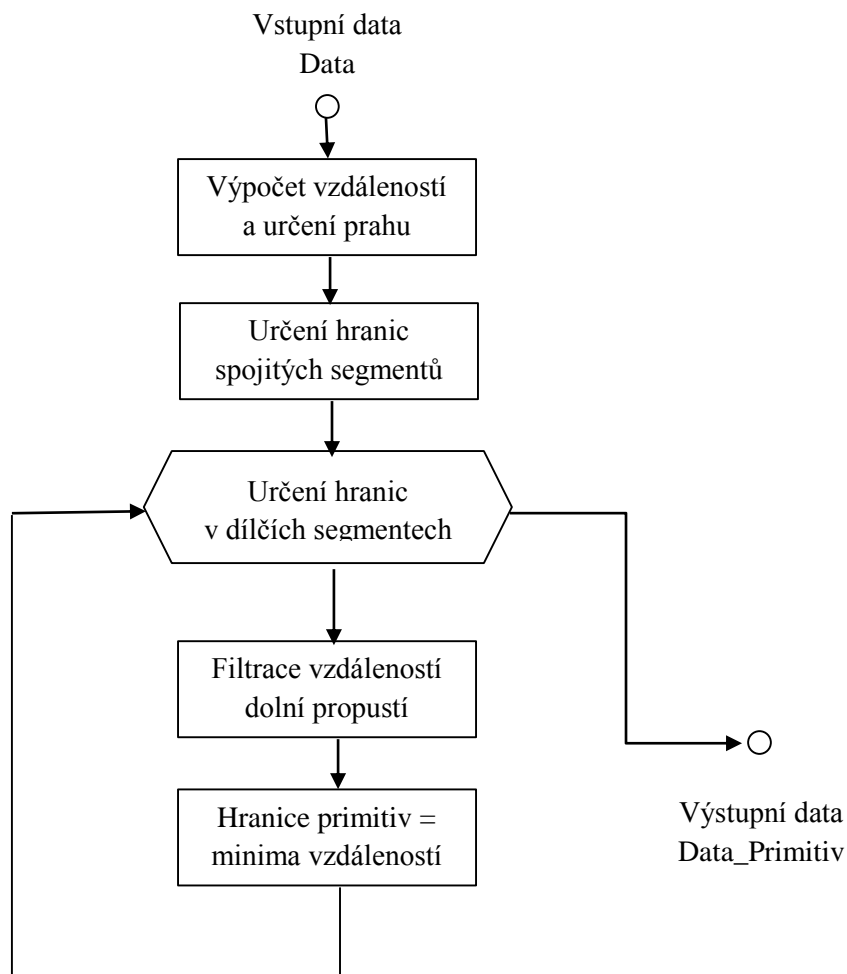
Výstupem této funkce je struktura obsahující vektory x, y, t pro každou kresbu. Tyto vektory jsou zároveň vstupem do dalších funkcí – *Detekce\_Primitiv.m*, *Vektorizace.m*.

### 6.1.2 Segmentace kresby

Segmentace kresby probíhá na základě poziční analýzy (kapitola 2.2) a zajišťuje ji funkce *Detekce\_Primitiv*, jejíž vývojový diagram lze vidět na obrázku (Obrázek 32).

Vývojový diagram (Obrázek 32) ilustruje následující posloupnost úkonů: ze struktury vstupních dat se nejprve vypočítají euklidovské vzdálenosti po sobě jdoucích bodů. Na základě prahu (stanoveného jako trojnásobek směrodatné odchylky vzdáleností) se určí hranice spojitě kreslených segmentů.





Obrázek 32 Vývojový diagram segmentace kresby

Následuje zpracování každého spojitě kresleného obrazce zvlášť. Nejdříve proběhne filtrace vzdáleností filtrem typu dolní propust za účelem získání hladkého průběhu. Návrh filtru a filtrace probíhá za pomoci filtru `fir2` s charakteristikami  $F$ ,  $M$  a délkou impulsní charakteristiky, která je rovna 0,2 násobku délky signálu

```
F = [0 0.1 0.15 1];
M = [1 1 0 0];
```

```
Signal = filtfilt(fir2(round(0.2 * diff([Data_kresby(i).start
Data_kresby(i).end])), F, M), 1,
Vzdalenosti(Data_kresby(i).start:(Data_kresby(i).end - 1)));
```

Poté se detekují podprahová minima, která tvoří hranice jednotlivých kresebných primitiv a jsou uložena do struktury `Data_primitiv`. Struktura `Data_primitiv` tak obsahuje počet spojitě kreslených obrazců a hranice jednotlivých kresebných primitiv pro danou kreslenou předlohu.

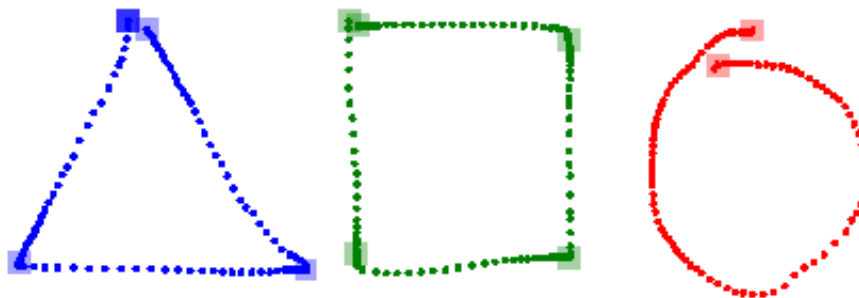
### 6.1.3 Vykreslení

Vykreslení v aplikaci realizuje funkce *Vyber\_Kresby.m*. Vstupem do této funkce jsou globální proměnné *Data* a *Data\_Primitiv* a dále také proměnná *Zvolena\_kresba*, kterou lze určit za pomoci uživatelského prostředí a která představuje určitou kresbu probanda.

Vzhledem k diskrétnímu záznamu se vykreslují body se souřadnicí *x* v závislosti na souřadnici *y*. Při vykreslování bodů je potřeba zohlednit otočenou osu *y* v aplikaci tabletu, proto je potřeba v aplikaci použít reverzní osy *y* parametrem *'reverse'*. Dále je třeba vzít v úvahu rozměry tabletu, na kterém byly kresby kresleny, aby data nebyla při zobrazení zkreslená. Informace o rozměrech tabletu jsou součástí globální proměnné *Data*. Reverzní osa *y* a nastavení šířky osy *y* se provede následujícím příkazem:

```
set(gca, 'YDir', 'reverse', 'XLim', [0 Data(Zvolena_kresba).canvasWidth]);
```

Úkolem funkce je především vykreslit data. Data jsou vykreslovány tak, že každý segment kresby kreslený spojitě má jinou barvu. Dále pak na základě segmentace primitiv pomocí *Detekce\_Primitiv.m* jsou vykresleny hranice primitiv jako zvýrazněné body. Každý zvýrazněný bod označující hranici primitiva je vykreslen stejnou barvou jako spojitý segment, ke kterému patří. Příkladem výsledného vykreslení je následující obrázek (Obrázek 33).



Obrázek 33 Příklad vykreslení získaných dat

V aplikaci se využívá i časového záznamu kresby. Na základě časové souřadnice lze zrekonstruovat průběh kresby, tedy jak proband kreslil v reálném čase. Psychologové hodnotící kresbu si proto za pomoci animace, která je zajišťována funkcí *Kresba\_Animace.m*, mohou prohlédnout postup a průběh kresby a na základě toho objektivněji provést vyhodnocení.

Vytvořená funkce pro animaci závisí na verzi Matlabu. Proto je vstupem do funkce nejen struktura Data, ale i proměnná Matlab\_Verze. Při vykreslení kresby animací se zbylá tlačítka uživatelského prostředí deaktivují přidáním parametru 'inactive' ke každému tlačítku. Funkce využívá při vykreslování příkazu `pause`, kdy parametrem příkazu jsou časové rozestupy mezi jednotlivými body.

#### 6.1.4 Manuální korekce

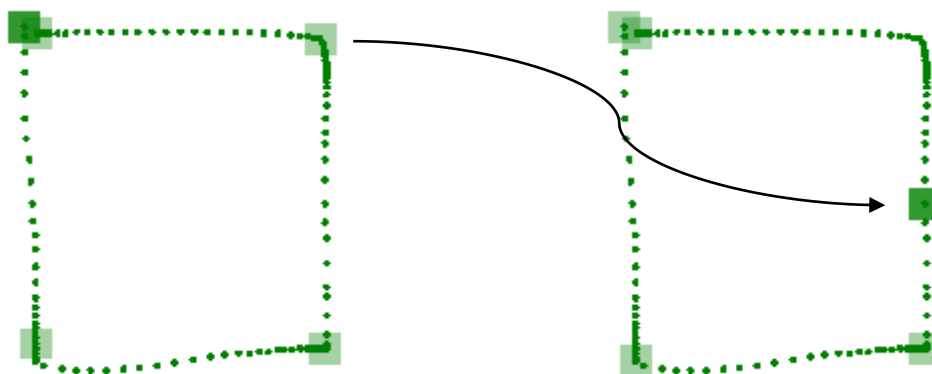
Manuální korekce slouží především při špatném nebo při nepřesném určení hranice primitiva. V případě špatných detekcí lze bod detekovaného primitiva posunout, odstranit nebo přidat další bod.

K manuální korekci a celkovým interaktivním změnám hranic primitiv slouží funkce:

- Obsluha\_Mysi.m
- Obsluha\_Klaves.m
- Obsluha\_Kontextoveho\_Menu.m
- Aktualizace\_Bod\_Menu.m

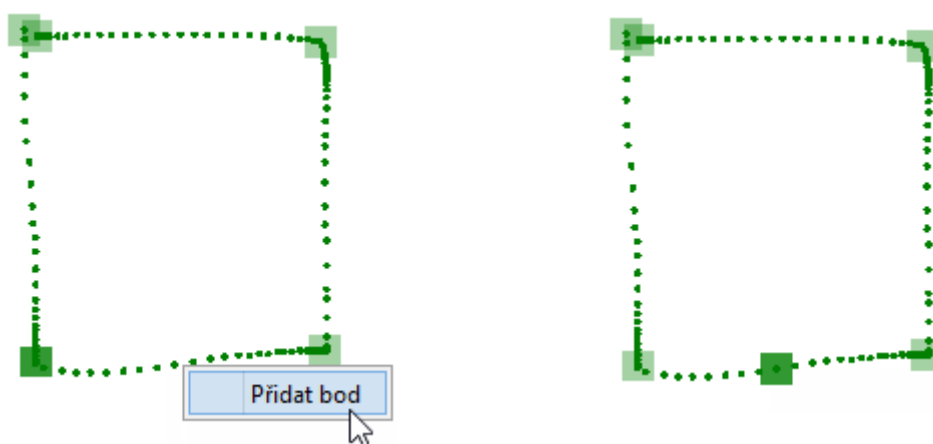
Vstupem funkcí pro manuální korekci jsou Data\_primitiv. Pro úpravu souřadnic hranic primitiva je nejprve nutno označit bod, se kterým se bude manipulovat. Po načtení kresby je vždy označen první bod celé kresby (bod je označen sytějším odstínem barvy). Pro označení jiného bodu lze užít myši, kláves i menu pro výběr bodu v panelu nastavení.

Pro manipulaci s bodem pomocí kláves musí být označena vykreslovací plocha. Pro obsluhu pomocí klávesnice jsou definovány šipky nahoru a dolů pro výběr bodu, šipky doleva a doprava pro korekci hranic segmentu změnou jeho souřadnic, tlačítko *del* pro smazání aktuálního bodu a tím sjednocení dvou primitiv. Daná funkce *Obsluha\_Klaves.m* využívá podmínkové struktury `switch` a následného `case` pro výběr klávesy. Na obrázku (Obrázek 34) je ilustrován uživatelem provedený posun bodu pomocí šipky vlevo.



Obrázek 34 Manuální korekce posunu bodu

Pro většinu uživatelů je vhodnější manipulace pomocí myši, která dovoluje klikem levého tlačítka označit bod a následným tahem změnu jeho umístění. Hýbat lze s bodem po celé vykreslovací ploše. Po skončení tahu bod automaticky skočí na pozici nejbližšího bodu svého obrazce, mezi dva koncové body, ze kterých byl původně vybrán. Důvodem je nezaměnitelnost pořadí bodů. Pomocí pravého tlačítka myši se vyvolá kontextové menu pro odstranění či přidání dalšího bodu označující hranici primitiva. Záleží na pozici kliknutí, při kliknutí na koncový bod lze bod smazat, při kliknutí na vykreslovací plochu lze bod přidat (Obrázek 35). Přidaný bod se přidá na pozici nejbližšího bodu libovolného obrazce od pozice kliknutí. Všechna pořadí bodu se automaticky aktualizují. Funkce pro korekci pomocí myši *Obsluha\_Mysi.m* musí obsahovat sadu omezení, které nedovolí s bodem pohnout za hranici vykreslovací plochy.

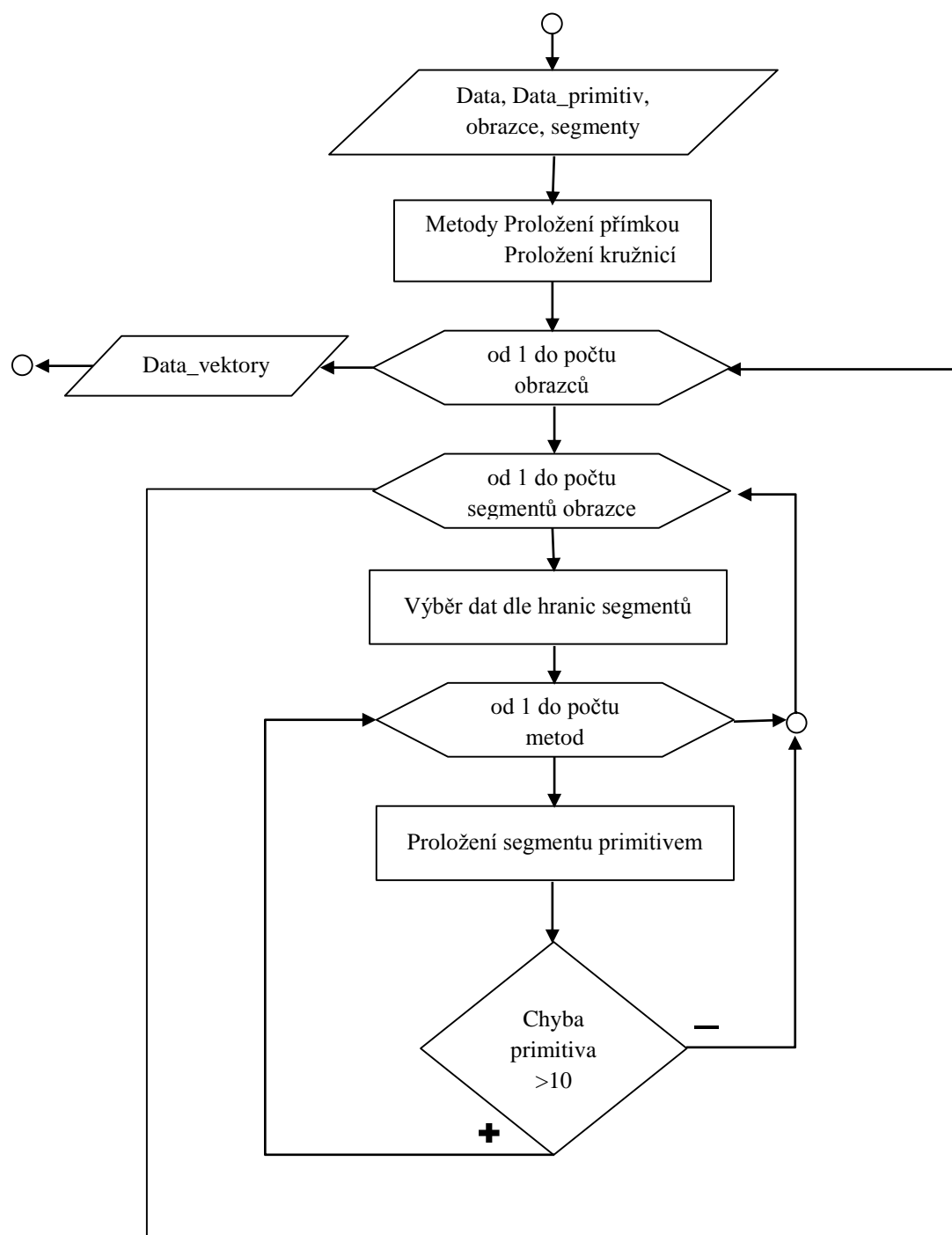


Obrázek 35 Manuální korekce přidání bodu

Při velmi krátké vzdálenosti dvou bodů již nelze pomocí myši efektivně zvolit vybraný bod. Pro tento případ lze použít menu v panelu nastavení, kde lze vybrat bod na základě pořadí koncového bodu v daném obrazci a jeho následnou změnu pomocí kláves.

### 6.1.5 Vektorizace

Po detekci hranic primitiv a volitelném kroku manuální korekce následuje proces vektorizace. Vektorizace je závislá na hranicích primitiv a vstupem do funkcí zajišťující vektorizaci jsou Data, Data\_primitiv, obrazce a segmenty. Vývojový diagram vektorizace lze vidět na následujícím obrázku (Obrázek 36).



Obrázek 36 Vývojový diagram vektorizace

Celý proces vektorizace zahrnují tyto funkce:

- Vektorizace\_Prepnout.m
- Vektorizace.m
- Prolozeni\_Kruznice.m
- Prolozeni\_Primka.m
- Vektorizace\_Vykresleni.m

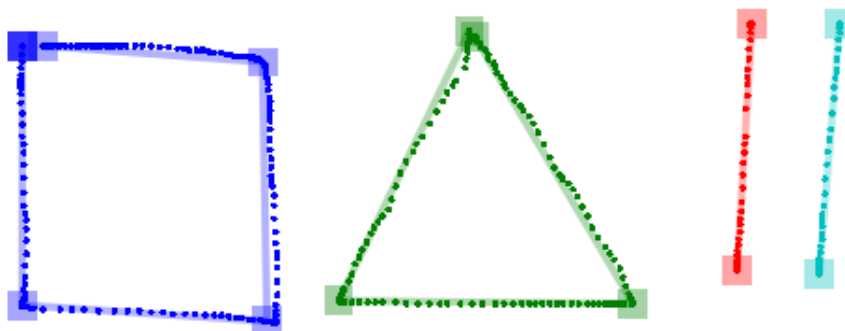
Zapnutí a vypnutí vektorizace je ovládáno tlačítkem. Na počátku programu je vektorizace vypnutá a text tlačítka je nastaven na „Zapnout vektorizaci kresby“ příkazem

```
set(varargin{1}, 'String', 'Zapnout vektorizaci kresby');
```

V závislosti na vektorizaci pracuje i výpis primitiv do tabulky. Při vypnuté vektorizaci nemá tabulka vypsána žádná data.

Po stisku tlačítka pro vektorizaci se text tlačítka nastaví na „Vypnout vektorizaci kresby“. Zároveň dojde ke zjištění čísla kresby, vektorizaci primitiv pro zvolenou kresbu, vykreslení kresby, vektorizovaných segmentů a jejich následný zápis do tabulky.

Vektorizace podle vývojového diagramu (Obrázek 36) probíhá podle dvou metod – proložení přímkou a proložení kružnicí. Vzhledem ke zvoleným tvarům z předloh kresebných testů (kapitola 4) jsou tyto metody plně dostačující, jelikož předlohy jsou složeny pouze z přímek a kružnic. Proložení přímkou probíhá na základě prvního a posledního bodu pro zachování spojitosti celého obrazce (Obrázek 37). Koeficienty rovnice přímky procházející danými body jsou vypočteny na základě normálového vektoru. Obecný tvar rovnice daného primitiva je pak uložen do struktury Data\_Vektory. Do struktury je rovněž uložena chyba vektorizace, vypočítaná podle vzorce (3.16). V případě, že je tato chyba větší než deset, nedojde k proložení přímkou, ale kružnicí.

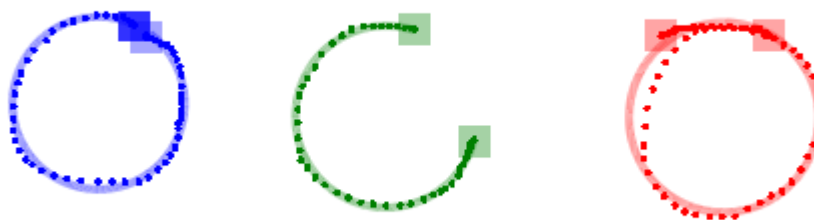


Obrázek 37 Vektorizace přímky

Proložení kružnicí se v aplikaci počítá podle postupu popsaném výše (kapitola 3.2.3). Jelikož proband nemusí nakreslit kružnici celou, popř. může kružnici přetáhnout, je potřeba vypočítat počáteční a konečný úhel pro vykreslení. Pokud by však vektorizace probíhala pouze na základě počátečního a konečného úhlu, docházelo by u přetažených kružnic k vykreslení pouze části oblouku. Proto musí být v rámci funkce zkontrolovány úhly všech po sobě jdoucích bodů daného segmentu. Úhly bodů kružnice se vypočítají následujícím příkazem a jsou zároveň ošetřeny vůči záporným hodnotám

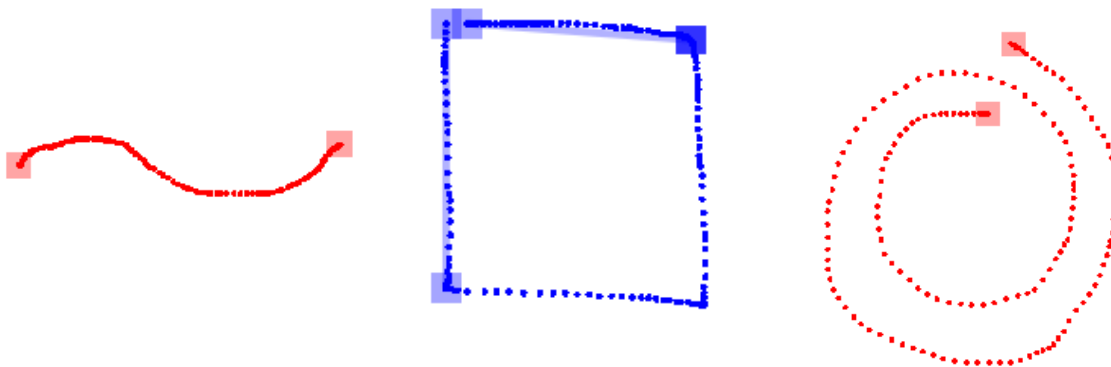
```
Uhly = (atan2(-(Y - Y_stred), X - X_stred) - atan2(0, Polomer));
Uhly(Uhly < 0) = Uhly(Uhly < 0) + 2 * pi;
```

Pokud je daná kružnice přetažena, popř. obtažena podruhé, připočte se k úhlům bodů dalšího obtažení hodnota  $2 * \pi$ . Pokud je hodnota konečného úhlů od počátečního větší o více než  $2 * \pi$ , je vykreslena celá kružnice. Kružnice i pro několik obtažení daného primitiva je vykreslena pouze jednou. Na obrázku (Obrázek 38) je ukázána vektorizace kružnice, neúplné kružnice a dále také přetažené kružnice.



**Obrázek 38 Vektorizace kružnice**

Vektorizace kružnice je rovněž zatížena určitou chybou, která je určena jako odchylka bodů od ideálního tvaru kružnice. Pokud je chyba větší než deset, pak se neubude jednat o kružnici a k vektorizaci nedojde. Křivky vymykající se kružnici či přímce v předlohách kresebných testů obsaženy nejsou, proto se předpokládá, že k takovým případům ideálně nedojde. Příkladem nevektORIZOVATELNÝCH tvarů v rámci aplikace je vlnitá čára, dva spojené segmenty po odstranění hranice u čtverce, popř. spirála (Obrázek 39), kdy dochází k chybě větší deseti jak u proložení přímkou, tak kružnicí.



Obrázek 39 Příklad nevektORIZovatelných tvarů (vlnitá čára, 2 segmenty po odstranění hranice, spirála)

Vektorizace je rovněž závislá na manuální korekci. Při zapnuté vektorizaci a úpravách manuální korekcí klávesy či myši dochází k automatickému přepočítávání vektorizačních křivek a k překreslení vektorizovaných primitiv. Zároveň dochází k přepisu dat v tabulce v panelu Data.

V tabulce panelu Data dochází při zapnuté vektorizaci k výpisu veškerých vektorizovaných primitiv a jejich charakteristik. K danému primitivu je v tabulce vypsána příslušnost k obrazci, primitivum je v tabulce kategorizováno na přímku či kružnici, dále je vypsána rovnice primitiva, počáteční a koncový bod v případě přímky (počáteční a koncový úhel v případě kružnice). V rámci tabulky je rovněž vypsána chyba primitiva od svého ideálního tvaru. Chyba je vždy menší než deset. Zápis do tabulky je zajišťován funkcí *Zapis\_Tabulka.m*, kde jsou ze vstupních globálních proměnných Data a Data\_primitiv vybrány parametry pro výpis pro danou zvolenou kresbu příkazy:

```
Primitiva = [Data_vektory{Zvolena_kresba}{:}];
Primitiva = cell2mat(Primitiva(~cellfun(@isempty, Primitiva)));
Konstrukcni_data = [Primitiva.constructionData];
Cisla_obrazcu_primitiv = cell2mat(get(findobj('Tag', 'Primitivum_Plot'),
'UserData'));
```

### 6.1.6 Export dat

Export dat je realizován funkcí *Ulozit\_Data.m* a je důležitý pro následné zpracování dat, klasifikaci a vyhodnocení kresebných testů. Funkce exportuje vybrané informace z globálních proměnných Data, Data\_primitiv a Data\_vektory. Výstupem je struktura obsahující informace o probandovi, čase záznamu kresby, informace o velikosti displeje zařízení, na kterém byl záznam proveden. Součástí struktury jsou původní data, dále hranice segmentů a konstrukční data vektorizovaných primitiv.

Pro uložení informací o testované osobě je třeba vyplnit jméno a rodné číslo. Rodné číslo je kontrolováno funkcí *Kontrola\_RC.m*. Funkce kontroluje správnost rodného čísla tak, že počet čísel musí být roven deseti a zároveň dané číslo musí být dělitelné jedenácti. Pokud



jméno či rodné číslo nejsou vyplněné, nastaví se do jména čas načtení dat a do rodného čísla bude zapsáno číslo „123456/1234“.

Pro výběr umístění ukládaných dat je použit příkazem `uiputfile`, kde je možno definovat formát exportovaných dat. V tomto případě se data exportují jako standardní matlabovská proměnná do tzv. MAT – souboru, se speciální příponou \*. *dap* (dynamic analysis of pictures), která souží pro odlišení od jiných MAT – souborů. Následujícími příkazy proběhne uložení souboru do zvolené složky.

```
[Jmeno, Cesta] = uiputfile({'*.dap', 'Dynamická analýza kresby (*.dap)'},  
'Uložit data', regexp(Data_osoba.name, ' ', '_'));  
  
if Jmeno ~= 0  
  
    save([Cesta Jmeno], 'Data_osoba', '-mat');  
end
```

Ukládaný soubor je primárně nazván jménem probanda, pokud analyzující osoba neuloží soubor jinak.

Po zpětném načtení dat je struktura nazvána `Data_osoba`. Uložený soubor má formu struktury, která je ukázána v tabulce (Tabulka 5). Ve struktuře je uloženo jméno pacienta (name), rodné číslo (id), datum uložení záznamu (acquisitionDate).

**Tabulka 5 Struktura dat pro export**

name	'Pacient0514182017'
id	'123456/1234'
acquisitionDate	'07-May-2015 15:25:04'
preminilaryData	1x6 struct
primitiveData	1x6 cell
vectorData	1x6 cell

Ve struktuře jsou v sekci `preminilaryData` rovněž obsažena původní data záznamu (x, y, t), informace o záznamovém zařízení (canvasWidth, canvasHeight – velikost displeje) a datum pořízení záznamu (drawTime) ve formě struktury pro každou kresebnou předlohu probanda. Příklad struktury těchto dat je v následující tabulce (Tabulka 6).

**Tabulka 6** Struktura preminilaryData obsahující původní data záznamu

preminilaryData					
drawTime	canvasWidth	canvasHeight	t	x	y
'07-May-2015 12:25:04'	800	444	446x1 double	446x1 double	446x1 double
'07-May-2015 12:25:32'	800	444	545x1 double	545x1 double	545x1 double
'07-May-2015 12:26:17'	800	444	685x1 double	685x1 double	685x1 double
'07-May-2015 12:26:53'	800	444	680x1 double	680x1 double	680x1 double
'07-May-2015 12:28:03'	800	444	575x1 double	575x1 double	575x1 double
'07-May-2015 12:28:36'	800	444	739x1 double	739x1 double	739x1 double

Další částí struktury jsou data primitiv, která jsou označena jako PrimitiveData (Tabulka 7). Pro každou předlohu existuje struktura o určitém počtu obrazců, které jsou obsaženy v datech a detekovány. V každém obrazci jsou pak zaznačeny hranice primitiv, ze kterých se obrazec skládá.

**Tabulka 7** Struktura dat primitiv a jejich hranic

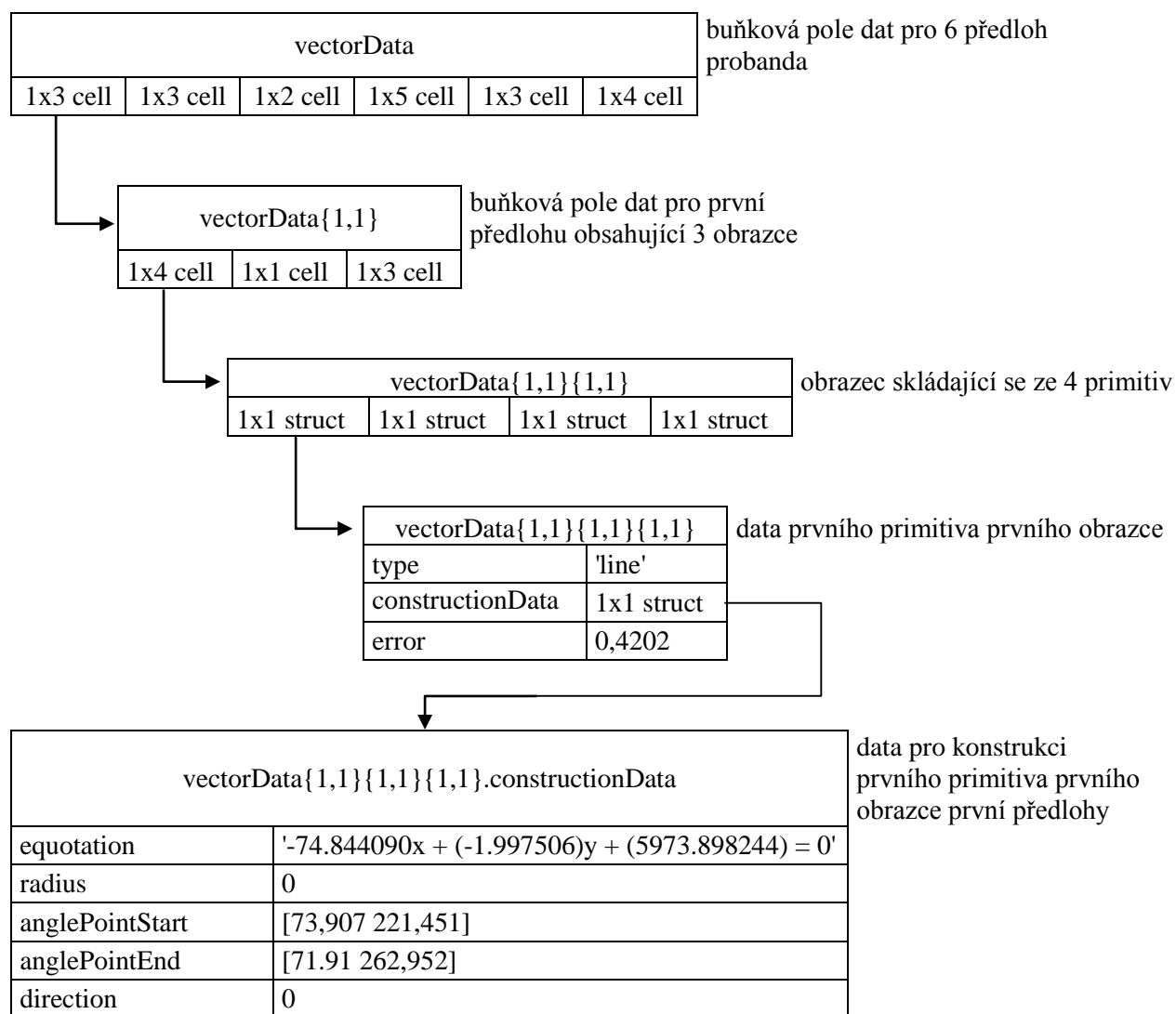
primitiveData						struktury dat primitiv pro 6 předloh probanda
1x3 struct	1x3 struct	1x2 struct	1x5 struct	1x3 struct	1x4 struct	

primitiveData{1,1}				struktura dat hranic primitiv pro první předlohu obsahující 3 obrazce
start	end	primitiveBorders	countBorders	
1	128	[1 30 66 99 127]	5	
129	284	[129 283]	2	
285	446	[285 332 384 445]	4	

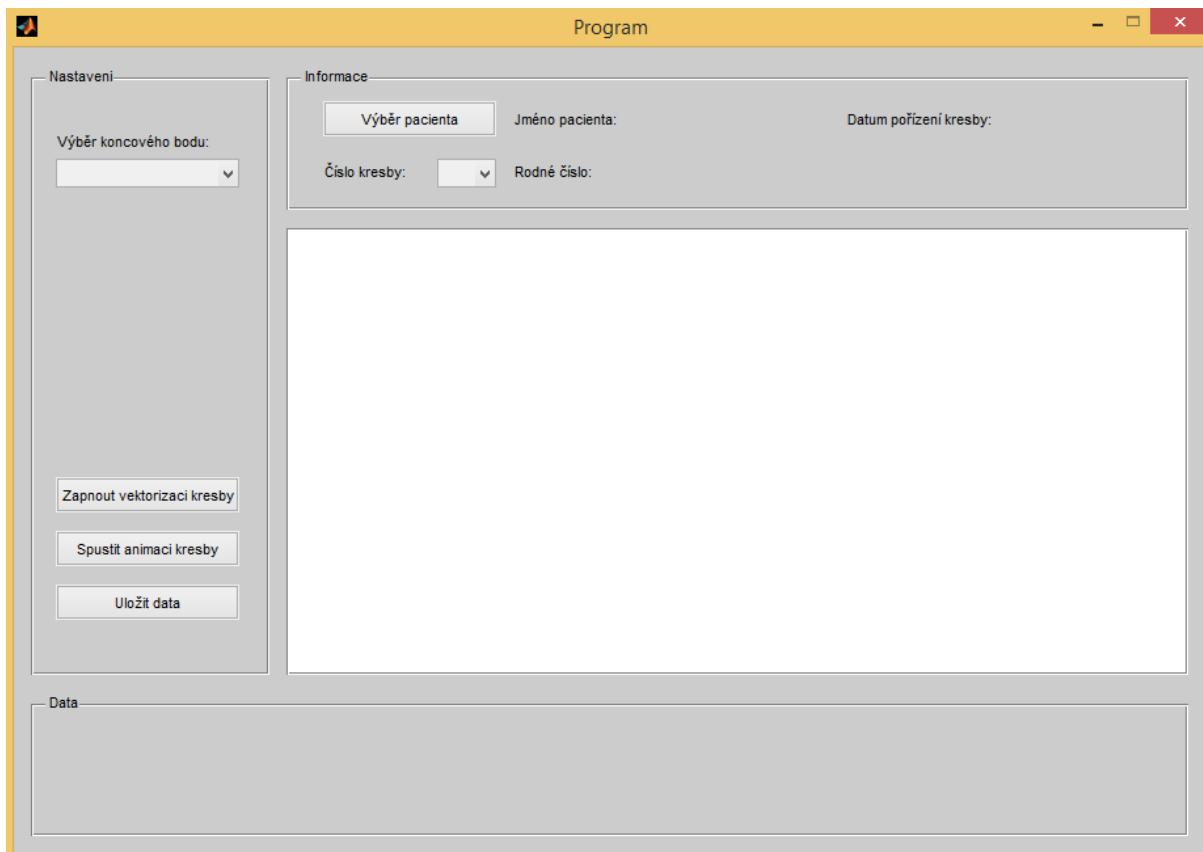
Poslední částí struktury jsou data pro konstrukci vektoru vectorData (Tabulka 8). Buňkové pole vectorData obsahuje data všech předloh pacienta, pro každou předlohu počet detekovaných obrazců a pro každý obrazec pak příslušná primitiva, ze kterých se obrazec skládá. Každé primitivum je charakterizováno typem (type), chybou vektorizace (error) a konstrukčními daty daného primitiva (constructionData). Typ kategorizuje primitiva do přímek a kružnic. Konstrukčními daty primitiva se rozumí jeho rovnice (equotation), počáteční a konečný bod a v případě kružnice počáteční a konečný úhel (anglePointStart, anglePointEnd), poloměr (radius) a směr (direction).

Tabulka 8 Struktura dat pro konstrukci vektorů



## 6.2 Uživatelské prostředí aplikace

Pro spuštění uživatelského prostředí aplikace je nutno spustit soubor *Program.m*. Po spuštění se vykreslí okno (Obrázek 40), které je rozděleno na vykreslovací plochu a tři panely – Informace, Nastavení, Data.



Obrázek 40 Uživatelské prostředí aplikace

Dokud nedojde k výběru pacienta, jsou tlačítka v panelu Nastavení nefunkční. Tlačítkem Výběr pacienta lze vybrat složku obsahující data pro zpracování. Po výběru dat se automaticky vyplní Jméno aktuálním časem zápisu a rodné číslo čísly jedna až šest. Zároveň dojde automaticky k vyplnění data pořízení kresby a ve vykreslovacím plátně se zobrazí první předloha s barevně odlišenými obrazy a vyznačenými hranicemi primitiv. V panelu Informace lze následně přepínat kresebné předlohy daného probanda.

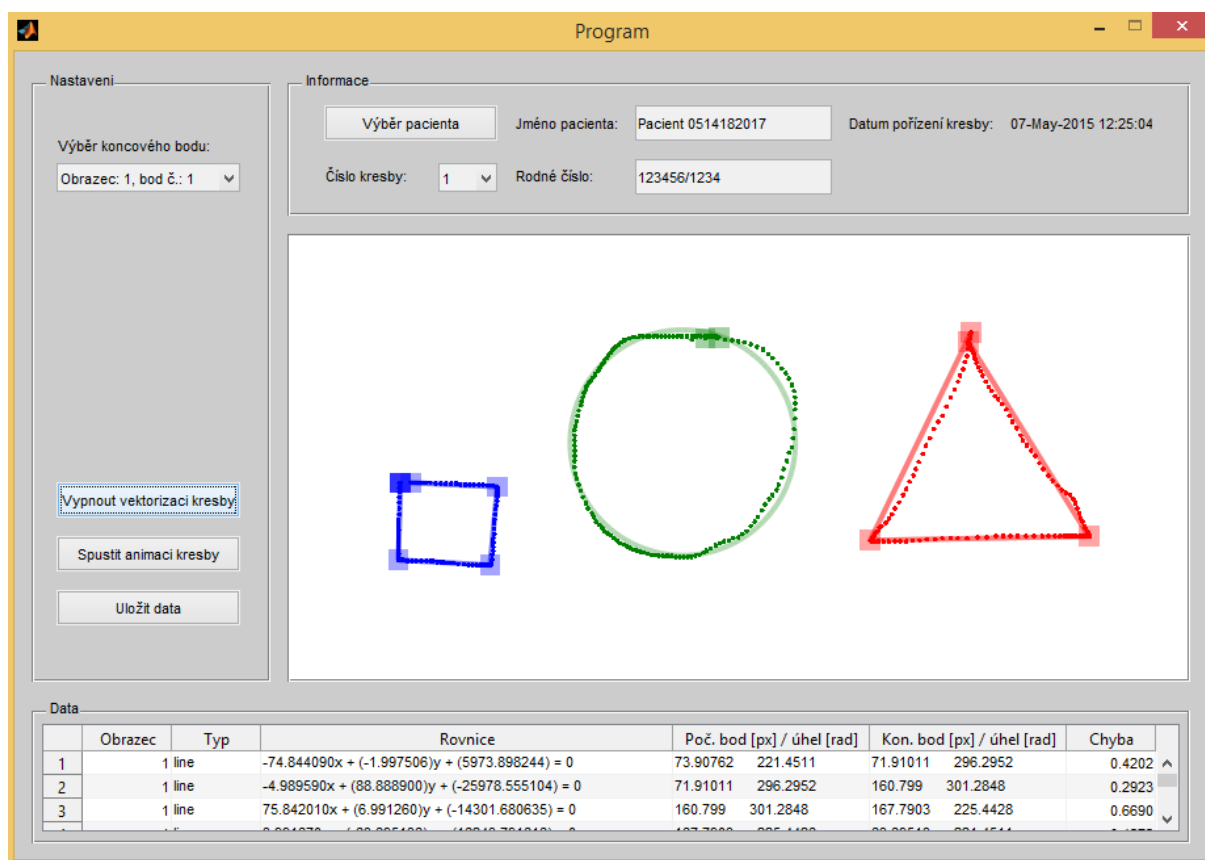
Po výběru pacienta se aktivují tlačítka v panelu Nastavení. Lze spustit animaci kresby zvolené kresebné předlohy. Při této animaci lze pozorovat, jak proband postupoval při kresbě, a lze sledovat, kde měl problémy s kresbou, popř. celkový čas kresby.

V panelu Nastavení lze zapnout vektorizaci kresby. Tato funkce vykreslí ideální tvar každého kresleného primitiva (přímka, kružnice) a lze tedy vidět výsledná vektorizovaná kresba. Při stisku tlačítka dochází k výpisu kresebných primitiv a jejich pořadí do tabulky v panelu Data.

Při nedokonalé vektorizaci či nalezení hranic kresebných primitiv lze klávesy či myší provést korekci. Právě označený bod pro korekci lze vidět v panelu nastavení ve Výběru koncového bodu. Při jakémkoli pohybu bodu či jeho odstranění dochází k automatickému přepisu dat v tabulce a novému vykreslení vektorizovaných dat.

Posledním tlačítkem v Nastavení je Uložit data. Toto tlačítko zajišťuje export dat do vybrané složky pro následnou klasifikaci a vyhodnocení dat.

Výsledné zobrazení aplikace s vykreslenými a vektorizovanými daty je zobrazena na obrázku (Obrázek 41).



Obrázek 41 Aplikace po výběru pacienta a zapnuté vektorizaci

## 7 Vyhodnocení

### 7.1 Vyhodnocení vektorizace

Kresebné předlohy (kapitola 4) se skládají pouze z přímk a kružnic popř. jejich částí. Dochází tedy k vektorizaci na daná geometrická primitiva. Vektorizace probíhá na základě chyby (průměrné vzdálenosti od ideálního primitiva). Pokud je chyba větší deseti pixelů (px) od přímky, dochází k vektorizaci kružnicí. Pokud je chyba větší deseti px od kružnice, k vektorizaci nedochází. Vzhledem ke zvoleným tvarům ideálně dochází k vektorizaci vždy a tedy všechna data jsou převedena do vektorizované podoby.

Bez zásahu manuální korekcí dochází k chybám v detekci hranic jednotlivých primitiv. Proto jsou některé přímky chybně zaměněny za kružnice, popř. se nevektorizují z důvodu velké chyby, příkladem je následující obrázek (Obrázek 42).



Obrázek 42 Výsledky chybné vektorizace

Pro vyhodnocení úspěšnosti vektorizace bez manuální korekce byla zaznamenána data dvanácti probandů bez mentálních poruch. Probandi měli za úkol dle zvolené metody (kapitola 5) překreslit geometrické tvary šesti kresebných předloh (kapitola 4).

Dohromady bylo překresleno 204 geometrických obrazců. K chybné detekci a vektorizaci došlo ve třinácti případech. Lze tedy říci, že úspěšnost vektorizace bez manuální korekce byla 93,63% na daném vzorku.

Po provedené manuální korekci původních dat přidáním či posunutím bodů (Obrázek 43) dochází k úpravě hranic segmentů, přehodnocení velikosti chyby a správné vektorizaci. Vektorizace po manuální korekci byla úspěšná ve všech případech.



Obrázek 43 Obrázky po opravě manuálních korekcí

## 7.2 Hodnocení chyby kresby primitiv

V rámci vektorizovaných dat lze hodnotit velikost chyby (průměrná vzdálenost bodů od příslušného primitiva) probandů.

Průměrná velikost chyby přímek všech probandů je 1,39 px. U kružnice je chyba průměrnou hodnotou 3,39 px téměř třikrát větší. Důvodem je obtížnější překreslení dokonalé kružnice. Chyby probandů v jednotlivých předlohách jsou zapsány v tabulkách (Tabulka 9, Tabulka 10).

Z dat je také patrné, že na začátku kresebného testu jsou chyby u přímek větší než na konci testu, kdy proband kreslí přímky přesněji.

Tabulka 9 Průměrné chyby přímek

Předloha	Průměrná chyba přímek v předloze [px]						Průměrná chyba probanda [px]	Chyba přímek [px]
	1	2	3	4	5	6		
Proband 1	1,576	1,929	1,333	0,751	0,857	0,796	1,2071	1,391102
Proband 2	1,393	1,940	1,468	0,753	0,540	1,066	1,1933	
Proband 3	1,442	1,242	1,116	1,048	1,789	1,084	1,2869	
Proband 4	1,077	1,128	1,057	0,942	1,107	1,373	1,1141	
Proband 5	1,181	1,889	1,235	0,979	1,840	0,719	1,3070	
Proband 6	1,423	2,188	1,081	2,396	1,798	1,268	1,6923	
Proband 7	1,854	2,960	2,369	1,793	1,755	1,220	1,9918	
Proband 8	1,998	1,343	2,375	1,657	1,130	0,956	1,5766	
Proband 9	2,160	1,106	1,214	1,432	1,713	0,921	1,4244	
Proband 10	1,221	1,867	1,032	1,601	1,304	1,520	1,4242	
Proband 11	1,148	0,966	1,311	1,478	1,595	0,777	1,2126	
Proband 12	1,550	1,379	1,151	1,594	0,904	1,001	1,2631	

**Tabulka 10 Průměrné chyby kružnic**

Kruh	Průměrná chyba kruhů [px]				Průměrná chyba probanda [px]	Chyba kružnic [px]
	1	2	3	4		
Proband 1	3,152	3,192	6,551	1,221	3,5290	3,39485
Proband 2	2,020	3,078	2,914	1,583	2,3985	
Proband 3	3,948	4,205	0,000	2,456	2,6521	
Proband 4	0,852	3,971	2,511	3,077	2,6029	
Proband 5	4,991	3,998	3,726	1,511	3,5563	
Proband 6	4,641	1,683	2,375	4,562	3,3152	
Proband 7	4,677	2,464	5,697	1,436	3,5685	
Proband 8	2,203	3,221	5,195	4,791	3,8523	
Proband 9	2,559	5,077	4,178	4,088	3,9753	
Proband 10	2,217	5,245	1,702	3,757	3,2303	
Proband 11	6,241	3,086	3,551	2,928	3,9515	
Proband 12	1,817	5,234	3,692	5,683	4,1064	

### 7.3 Časové hodnocení kresby

Ze záznamu dat probandů lze rovněž hodnotit dobu kresby předloh různých obtížností. Jednotlivé předlohy se liší počtem obrazců, zastoupením a složitostí geometrických tvarů a proto se průměrné doby kresby předloh liší. Ze zaznamenaných dat (Tabulka 11) lze zhodnotit, že v průměru nejdelší dobu trvala předloha č. 6 (Obrázek 29).

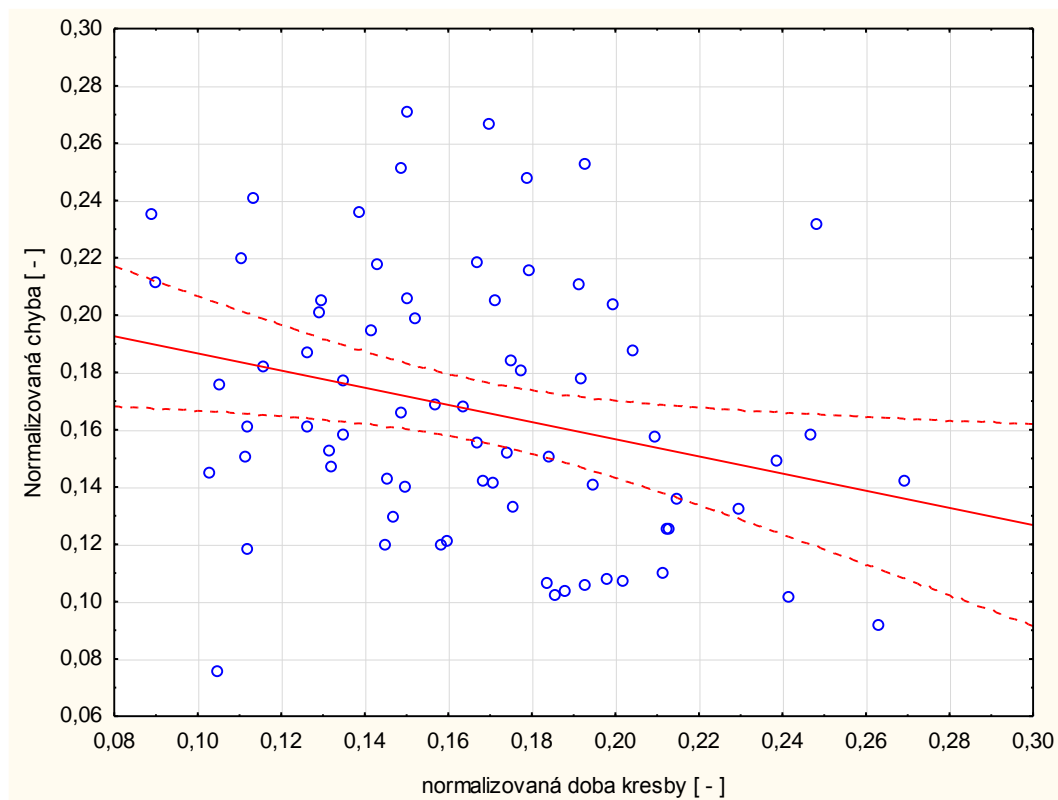
Na základě naměřených dat lze porovnat rychlost kreslířů a zároveň určit, která kresba dělala zvolenému probandu největší problémy.

Lze vznést předpoklad, že při větším soustředění a pomalejší kresbě bude výsledná chyba menší. Pro otestování hypotézy je potřeba normalizovat časová data i data chyb, jelikož každý proband má jinou průměrnou rychlost a přesnost kresby. Pro otestování hypotézy byla provedena korelační analýza celkových dat i jednotlivců. Korelace mezi rychlostí a přesností kresby nebyla prokázána ani jedním z uvedených způsobů. Souhrnná korelační analýza je zobrazena na následujícím obrázku (Obrázek 44) s korelačním koeficientem -0,2703. Možným důvodem negativního výsledku analýzy a nepotvrzení hypotézy je statisticky nevýznamný počet vzorků.



**Tabulka 11 Tabulka doby kresby probandů**

	doba kresby probanda předlohy [s]						celková doba kresby probanda [s]
	1	2	3	4	5	6	
Proband 1	9,31	11,05	11,40	12,25	7,30	13,77	65,07
Proband 2	8,52	9,03	10,30	11,58	6,31	14,36	60,09
Proband 3	12,43	11,01	10,13	21,10	24,37	19,14	98,18
Proband 4	8,64	10,71	16,84	11,66	10,17	10,26	68,28
Proband 5	7,38	7,48	13,84	14,03	5,90	17,38	66,01
Proband 6	11,24	13,48	13,81	10,44	10,15	15,99	75,12
Proband 7	20,95	22,48	19,07	23,10	16,56	23,28	125,45
Proband 8	8,09	24,20	13,36	9,45	13,04	21,72	89,86
Proband 9	10,00	7,62	8,73	8,48	6,70	10,27	51,80
Proband 10	7,85	9,02	8,64	11,03	7,11	10,37	54,02
Proband 11	7,98	10,39	10,51	11,81	6,55	11,97	59,21
Proband 12	6,87	6,13	9,21	10,13	8,39	12,16	52,90
průměrná doba kresby předlohy [s]							průměrná doba kresby probandů [s]
							72,16



**Obrázek 44 Korelační analýza přesnosti a doby kresby, korelační koeficient -0,2703**

## 7.4 Doporučení

Výsledná vektorizace po manuální korekci byla úspěšná ve všech případech. Algoritmus byl sestaven na vektorizaci přímk a kružnic a vektorizuje vždy s maximální chybou 10 px. Na základě výsledné vektorizace lze říci, že sada kresebných předloh sestavených na základě testu podle Bentona jsou pro vektorizaci algoritmem plně vyhovující.

Pro tvorbu dalších předloh se doporučuje užívat opět přímk, kružnic i jejich částí. V případě jiných křivek by k vektorizaci nedošlo z důvodů velkých chyb.

Pro záznam kresby se pak doporučuje kvalitní zařízení pro přesný záznam dat. Při použití zařízení Prestigio Multipad docházelo k pozdnímu vykreslování zaznamenané kresby a mnohdy i k vynechávání záznamu kresby, kdy důsledkem byla ztráta úseku dat, zmatení probanda a delší časové prodlevy v kresbě probanda.

Důvodem vysoké úspěšnosti vektorizace mohlo být i testování na vzorku probandů bez mentálních poruch. Aplikace je tvořena především pro diagnostické účely určování stupňů retardace malých dětí. Proto by měl být algoritmus dostatečně robustní i pro data naměřená dětmi s retardací.

Rozdílem mezi probandy bez mentálních poruch a probandy s retardací může být ve spojitosti kresby, ve velké chybě při kreslení primitiv (vzniklé tremorem a jinými dyskinezemi) nebo ve větší době kresby. U retardovaných dětí se rovněž předpokládá vyšší počet zaznamenaných primitiv při kresbě jedné předlohy kvůli oprav tahu či obtahování.

## 8 Závěr

V této práci byla uvedena problematika psychologických kresebných testů a definovány kvantifikátory kresby. Pro analýzu dynamiky kreslení byla provedena časová a poziční analýza kreslení. Na základě změřených dat byly zjištěny větší časové prodlevy a zároveň větší hustota vzorkování na hranicích kresebných primitiv. Na základě poziční analýzy lze pak provést segmentace kresby a následně mohou být kresebná primitiva vektorizována pomocí metod popsanych v této práci. Metoda vektorizace byla sestavena s ohledem na výpočetní nenáročnost a s ohledem na vybrané geometrické tvary pro kresebné testy.

Pro zmíněné kresebné testy byly vybrány jednoduché geometrické obrazce sestavené do předloh a inspirované obkreslovacím testem podle Bentona. Pro zaznamenání kreseb sestavených předloh byla v rámci této práce sestavena metoda skládající se z tabletu a příslušného stylusu, kdy zaznamenaná data mohou být jednoduše přetažena do počítače a zpracována vytvořenou aplikací v programovém prostředí Matlabu.

Účelem vytvořené aplikace je pomoci psychologům automaticky a objektivně vyhodnocovat stupeň retardace dětí na základě pozičních a časových souřadnic kresby. Vytvořená aplikace načte data získaná z tabletu, vektorizuje je do kresebných primitiv (přímek a kružnic), určí jejich počet a pořadí a chybu vektorizace kresby od ideálního tvaru. Aplikací lze rovněž zrekonstruovat průběh kresby spuštěním animace. Na základě chyby a celkového času kresby lze pak hodnotit stupeň retardace dítěte.

Výstupem aplikace je datová struktura, která rovněž slouží jako vstup pro další klasifikaci objektů a hodnocení celkové distorze obrazu.

Pro hodnocení vektorizace byly vybranou metodou zaznamenány kresby dvanácti probandů bez mentálních poruch. Vektorizace bez manuální korekce proběhla úspěšně v 93,63% případů, s manuální korekcí pak ve všech případech.

Nakonec bylo provedeno hodnocení vektorizace z hlediska chyb jakožto odchylek kreseb od ideálních tvarů. Průměrná chyba na daném vzorku byla 1,39 px od přímky a 3,39 px od kružnice.

## Seznam použité literatury

- [1] MARR, David. *Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information*. Cambridge: MIT Press, c2010, xxiii, 403 s. ISBN 978-0-262-51462-0
- [2] ŠKRABÁNKOVÁ, J.: *Nové možnosti výzkumu nadaných studentů prostřednictvím technologie Eye Tracking (zaměřeno na přírodovědně nadané žáky)*, rok 2014. Dostupné z: <http://k101.unob.cz/kolokvium/7archiv/2014/1abs/0prisp/3skrabaj.pdf>
- [3] HLAVÁČ, V.: *Human Vision and Marrs theory of machine vision*. Dostupné z: [http://cmp.felk.cvut.cz/~flachbor/teaching/cv\\_virt\\_real/Human-Vis-Marr.pdf](http://cmp.felk.cvut.cz/~flachbor/teaching/cv_virt_real/Human-Vis-Marr.pdf)
- [4] REKTOR, I., Rektorova, I. at all.: *Centrální poruchy hybnosti v praxi*. Triton, s.r.o., 2003, ISBN 80-7254-418-7
- [5] JANCOVIC, J., Tolosa, E.: *Parkinson's disease and movement disorders*. 2007, ISBN 10: 0-7817-7881-7
- [6] DONALDSON, I., Marsden, C. D. at all.: *Marsden's book of movement disorders*. Oxford University Press, 2012, ISBN 978-0-19-261911-2
- [7] OBEREIGNERŮ, R. at all.: *Projevy schizofrenie v testu lidské postavy*. Rok 2011. Dostupné z: <http://www.psychiatriepropraxi.cz/pdfs/psy/2011/03/09.pdf>
- [8] MAUTNEROVÁ, P.: *Kresba postavy jako diagnostický prostředek rozumového vývoje*. Rok 2010. Dostupné z: <http://theses.cz/id/ccig7d/97087-192243020.pdf>
- [9] MATĚJČEK, Zdeněk, VÁGNEROVÁ, Marie. *Test obkreslování: příručka pro administraci a interpretaci*. Psychodiagnostika, 1992, c2010, xxiii, 27 s.
- [10] SUNG, J. A.: *Geometric Fitting of Parametric Curves and Surfaces*, rok 2008, DOI: 10.3745/JIPS.2008.4.4.153. Dostupné z: [http://www.jipsk.org/dlibrary/JIPS\\_v04\\_no4\\_paper4.pdf](http://www.jipsk.org/dlibrary/JIPS_v04_no4_paper4.pdf)
- [11] SOJKA, E. at all.: *Matematické základy počítačové grafiky*. Rok 2011. Dostupné z: <http://mrl.cs.vsb.cz/people/sojka/pg/mzpg.pdf>
- [12] ŽÁRA at all.: *Algoritmy počítačové grafiky*, 2000. Dostupné z: <https://cent.felk.cvut.cz/courses/APG/skripta/kap04/kap04.html>
- [13] STEIN, Y.: *Two Dimensional Euclidian Regression*, 1983. Dostupné z: <http://www.dspsp.com/pubs/euclreg.pdf>
- [14] MARKOVSKY, I at all.: *Overview of Total Least Square Methods*. Dostupné z: [http://eprints.soton.ac.uk/263855/1/tls\\_overview.pdf](http://eprints.soton.ac.uk/263855/1/tls_overview.pdf)
- [15] GANDER, W., Golub, G.H. at all.: *Least Squares Fitting of Circles and Ellipses*. Dostupné z: <http://www.emis.de/journals/BBMS/Bulletin/sup962/gander.pdf>
- [16] SVOBODA, M. at all.: *Psychodiagnostika dětí a dospívajících*. Portál, 2009, ISBN: 978-80-7367-566-0
- [17] MLČÁK, Z. : *Diagnostické využití dětské kresby v práci učitele*. Scholaforum, 1996. ISBN 80-86058-05-0

[18] BENTON, A.L.: *Bentonův vizuální retenční test*. Testcentrum, 2000.

## Přílohy

Součástí elektronické přílohy:

- Data dvanácti probandů kresby podle předloh
- Vytvořená aplikace v programovém prostředí Matlab:
  - Aktualizace\_Bod\_Menu.m
  - Detekce\_Primitiv.m
  - Kontrola\_RC.m
  - Kresba\_Animace.m
  - Nahrat\_Data.m
  - Obsluha\_Klaves.m
  - Obsluha\_Kontextoveho\_Menu.m
  - Obsluha\_Mysi.m
  - Program.m
  - Prolozeni\_Kruznice.m
  - Prolozeni\_Primka.m
  - Ulozit\_Data.m
  - Vektorizace.m
  - Vektorizace\_Prepnout.m
  - Vektorizace\_Vykresleni.m
  - Vyber\_Kresby.m
  - Zapis\_Tabulka.m